

Aus dem Medizinischen Zentrum
für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde am Klinikum
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Die Einwirkung von Ultraschall auf verschiedene Amalgamsorten

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde des Fachbereiches Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Gerhard Weigelt
aus Heuchelheim

Gießen 1980

Aus dem Medizinischen Zentrum
für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde am Klinikum
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Die Einwirkung von Ultraschall auf verschiedene Amalgamsorten



Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde des Fachbereiches Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von
Gerhard Weigelt
aus Heuchelheim

Gießen 1980

Aus dem Medizinischen Zentrum
für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde am Klinikum
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Die Einwirkung von Ultraschall auf verschiedene Amalgamsorten



Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades
der Zahnheilkunde des Fachbereiches Zahnmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan:	Prof. Dr. Dr. h.c. Ringleb
1. Berichterstatter:	Prof. Dr. Pantke
2. Berichterstatter:	Prof. Dr. Dr. Kreter

Vorgelegt von
Gertfried Weigelt
aus Heuchelheim

Gießen 1980

INHALTSVERZEICHNIS

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Die Bedeutung der Eltern	4
1.1. Die Eltern als Vorbild	5
1.2. Die Eltern als Helfer	6
1.3. Die Eltern als Berater	7
1.4. Die Eltern als Richter	8
1.5. Die Eltern als Helfer	9
1.6. Die Eltern als Berater	10
1.7. Die Eltern als Richter	11
1.8. Die Eltern als Helfer	12
1.9. Die Eltern als Berater	13
1.10. Die Eltern als Richter	14
1.11. Die Eltern als Helfer	15
1.12. Die Eltern als Berater	16
1.13. Die Eltern als Richter	17
1.14. Die Eltern als Helfer	18
1.15. Die Eltern als Berater	19
1.16. Die Eltern als Richter	20
1.17. Die Eltern als Helfer	21
1.18. Die Eltern als Berater	22
1.19. Die Eltern als Richter	23
1.20. Die Eltern als Helfer	24
1.21. Die Eltern als Berater	25
1.22. Die Eltern als Richter	26
1.23. Die Eltern als Helfer	27
1.24. Die Eltern als Berater	28
1.25. Die Eltern als Richter	29
1.26. Die Eltern als Helfer	30
1.27. Die Eltern als Berater	31
1.28. Die Eltern als Richter	32
1.29. Die Eltern als Helfer	33
1.30. Die Eltern als Berater	34
1.31. Die Eltern als Richter	35
1.32. Die Eltern als Helfer	36
1.33. Die Eltern als Berater	37
1.34. Die Eltern als Richter	38
1.35. Die Eltern als Helfer	39
1.36. Die Eltern als Berater	40
1.37. Die Eltern als Richter	41
1.38. Die Eltern als Helfer	42
1.39. Die Eltern als Berater	43
1.40. Die Eltern als Richter	44
1.41. Die Eltern als Helfer	45
1.42. Die Eltern als Berater	46
1.43. Die Eltern als Richter	47
1.44. Die Eltern als Helfer	48
1.45. Die Eltern als Berater	49
1.46. Die Eltern als Richter	50
1.47. Die Eltern als Helfer	51
1.48. Die Eltern als Berater	52
1.49. Die Eltern als Richter	53
1.50. Die Eltern als Helfer	54
1.51. Die Eltern als Berater	55
1.52. Die Eltern als Richter	56
1.53. Die Eltern als Helfer	57
1.54. Die Eltern als Berater	58
1.55. Die Eltern als Richter	59
1.56. Die Eltern als Helfer	60
1.57. Die Eltern als Berater	61
1.58. Die Eltern als Richter	62
1.59. Die Eltern als Helfer	63
1.60. Die Eltern als Berater	64
1.61. Die Eltern als Richter	65
1.62. Die Eltern als Helfer	66
1.63. Die Eltern als Berater	67
1.64. Die Eltern als Richter	68
1.65. Die Eltern als Helfer	69
1.66. Die Eltern als Berater	70
1.67. Die Eltern als Richter	71
1.68. Die Eltern als Helfer	72
1.69. Die Eltern als Berater	73
1.70. Die Eltern als Richter	74
1.71. Die Eltern als Helfer	75
1.72. Die Eltern als Berater	76
1.73. Die Eltern als Richter	77
1.74. Die Eltern als Helfer	78
1.75. Die Eltern als Berater	79
1.76. Die Eltern als Richter	80
1.77. Die Eltern als Helfer	81
1.78. Die Eltern als Berater	82
1.79. Die Eltern als Richter	83
1.80. Die Eltern als Helfer	84
1.81. Die Eltern als Berater	85
1.82. Die Eltern als Richter	86
1.83. Die Eltern als Helfer	87
1.84. Die Eltern als Berater	88
1.85. Die Eltern als Richter	89
1.86. Die Eltern als Helfer	90
1.87. Die Eltern als Berater	91
1.88. Die Eltern als Richter	92
1.89. Die Eltern als Helfer	93
1.90. Die Eltern als Berater	94
1.91. Die Eltern als Richter	95
1.92. Die Eltern als Helfer	96
1.93. Die Eltern als Berater	97
1.94. Die Eltern als Richter	98
1.95. Die Eltern als Helfer	99
1.96. Die Eltern als Berater	100

DIE EINWIRKUNG VON ULTRASCHALL AUF VERSCHIEDENE
AMALGAMSORTEN

	<u>Seite</u>
1.0.0 Einleitung und Problemstellung	5
2.0.0 Material und Methode	7
2.1.0 Ultraschall und Zahnreinigung	7
2.2.0 Auswahl der Zähne	10
2.3.0 Der Prüfkörper	12
2.4.0 Die Prüfkörperhalterung	14
2.5.0 Zentrierung und Herstellung der Kavität	16
2.5.1 Die Zentrierung	16
2.5.2 Die Herstellung der Kavität	18
2.6.0 Die verwendeten Amalgame	19
2.6.1 Legen und Politur der Amalgamfüllung	21
2.7.0 Das Oberflächenmeßgerät	22
2.7.1 Die DIN-Norm 4768	23
2.7.2 Die Justierung des Profilographen	26
2.7.3 Die Randspaltregistrierung	28
2.8.0 Die Beschallung der Zähne	29
2.8.1 Die Auswertung der Profilschriebe	33
2.9.0 Die rasterelektronenmikroskopische Darstellung	34

	Seite
3.0.0 Untersuchungsergebnisse	36
3.1.0 Statistische Auswertung der Rauhtiefenmessung	37
3.1.1 Tabellen und Diagramme	42
3.2.0 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen	62
4.0.0 Diskussion der Resultate	73
5.0.0 Zusammenfassung	78
6.0.0 Literaturverzeichnis	80

1.0.0. Einleitung und Problemstellung

Bei Prophylaxe und Therapie der marginalen Parodontopathien stellt die Zahnreinigung einen wesentlichen Faktor dar. Hierbei steht die Entfernung von subgingivalen Konkrementen und Zahnstein im Vordergrund. Neben anderen exogenen Reizfaktoren, wie überstehende Füllungs- und Kronenränder etc., wirken diese Ablagerungen als mechanische Irritation auf die angrenzende Gingiva und unterhalten, fördern und steigern so die entzündlichen Vorgänge (HARNDT, 11).

Zur Beseitigung dieser lokalen Reizfaktoren werden seit längerer Zeit neben den Handinstrumenten wie Scalern, Küretten etc. auch Ultraschallzahnreinigungsgeräte angewandt. Während die Entfernung der Ablagerungen an Zahnhals und Zahnwurzeloberfläche mit Hilfe von Handinstrumenten eine nicht selten schmerzhaftes sowie zeitintensive Prozedur darstellt, bietet sich durch den Einsatz von Ultraschall eine für den Patienten angenehmere und kürzere Behandlung (SORRIN, 28) an. STAPFF (35, 36) spricht von einer effektiven Arbeitszeitverkürzung um 50 %, wenn gleich groß gereinigte Gebiete verglichen werden. Im Gegensatz zu Handinstrumenten ist eine ständige und saubere Durchspülung des Behandlungsgebietes und somit ein übersichtliches Arbeiten möglich. Des weiteren sind Weichteilverletzungen durch Verwendung von abgerundeten, stumpfen Instrumenteneinsätzen bei der Zahnreinigung durch Ultraschall praktisch ausgeschlossen, zumal dies nahezu ohne Druck durchgeführt wird.

Untersuchungen von HÜTTEMANN (12) zeigen jedoch, daß bei Einwirkung von Ultraschallinstrumenten auf den Zahn Strukturveränderungen des Schmelzes stattfinden. Dies veranlaßte u.a. SCHRÖDER (27) und DINGES/JOCHUM (4) den Einfluß von Ultraschallzahnreinigungsgeräten auf verschiedene plastische zahnärztliche Füllungs-materialien zu untersuchen. Hierbei stellte sich heraus, daß sowohl am Zahnschmelz, als auch am Füllungsrand und an der Füllung Oberflächen-schäden in Form von Rauigkeitsveränderungen auftreten. Ziel unserer Arbeit war es, das Verhalten verschiedener Amalgamsorten auf Einwirkung von Ultraschall zu erfassen und mögliche Unterschiede aufzuzeigen.

2.0.0 Material und Methode

2.1.0 Ultraschall und Zahnreinigung

Unter Ultraschall versteht man Longitudinalschwingungen, die in einem Medium Schallwellen erzeugen und über einer Frequenz von 16 KHz liegen. Bereits 1918 ist es zuerst LANGEVIN gelungen, den Bereich der experimentell zugänglichen Schallwellen über den menschlichen Hörbereich hinaus zu erweitern. Dies erreichte er dadurch, daß er durch elektrische Schwingungen ein Schwingquarz zu elastischen Eigenschwingungen anregte (WESTPHAL, 38). Ein Schwingquarz vermag sehr große Schalleistungen abzustrahlen. Hierdurch ist es möglich, mit Ultraschall sehr starke mechanische Wirkungen auf sehr kleinem Raum in den durchstrahlten Stoffen zu erzielen. Hierbei kommt es in einem Medium zu rhythmischen Verdünnungen und Verdichtungen, deren kinetische Energie besonders an definierten Grenzschichten wirksam wird. Man spricht von Grenzschichten, wenn zwischen Medien ein Unterschied im Schallwellenwiderstand besteht. Dieser ist das Produkt aus Schallgeschwindigkeit und Dichte der angrenzenden Medien. Für die Zahnreinigung ist die Grenzschicht zwischen Zahnoberfläche und Ablagerung bedeutsam.

Ultraschall wird von Luft nur zu einem sehr geringen Teil weitergeleitet. Um eine gute Energieübertragung zu gewährleisten, ist ein Trägermedium erforderlich, das eine akustische Ankoppelung an die Zahnoberfläche ermöglicht. Hierzu, sowie zur notwendigen Kühlung der Zahnoberfläche verwendet man ein Wasserspray. Die austretende Flüssigkeit

wird von der Instrumentenspitze zu einem feinen Nebel zerstäubt. In diesem Wasser kommt es zur Kavitation, einem Vorgang aus der Hydrodynamik. Dabei zerreißt die Flüssigkeit unter sehr hohen Zugkräften, es kommt zur Vakuolenbildung. In der folgenden Druckphase stürzen diese kleinen Hohlräume zusammen, wobei hohe Energiespitzen erzeugt werden. Durch diese hohen Druckspitzen und die feine Hämmerung der Instrumentenspitze auf die an der Zahnoberfläche haftenden Ablagerungen werden Zahnstein und Konkreme abgesprengt und durch das Wasserspray weggespült. Nach Untersuchungen von RABE (22) kommt nämlich der Kavitation nur eine geringe Bedeutung zu.

Ultraschall läßt sich nach zwei physikalischen Prinzipien erzeugen. Man nutzt dabei den magnetostriktiven oder den reziproken piezoelektrischen Effekt aus. Beim magnetostriktiven Effekt wird ein Eisen- oder Nickelstab in einer von Wechselstrom durchflossenen Spule in Längsschwingungen versetzt, wobei die Endfläche des Stabes entsprechend der Frequenz Schallwellen abgeben.

Beim reziproken piezoelektrischen Effekt befindet sich ein entsprechend geschnittener Quarzkristall in einem elektrischen Wechselfeld, der sich im Rhythmus der Potentialänderung ausdehnt und zusammenzieht.

Das von uns verwendete Ultraschallgerät LT 200 der Firma LITTON (19) arbeitet nach dem magneto-

striktiven Prinzip. Für unsere Versuche stand uns ein neues, wahllos aus der Serienproduktion genommenes Ultraschallzahnreinigungsgerät zur Verfügung.

Über das Gerät LT 200 macht die Firma folgende Angaben:

max. Leistungsaufnahme:	100 VA
Schwingersystem	: magnetostriktiver Lammellenschwinger
Arbeitsfrequenz	: 18.000 Hz $\pm$ 10 %
Schwingungsrichtung	: transversal, vertikal (linear)
Leistungseinstellung	: durch Amplitudenvariation
Schwingungsamplitude an der Arbeitsspitze	: 0,015 - 0,1 mm
Wasserdurchfluß max.	: 100 ml/min.

Während der Beschallung der Prüfkörper, die mit dem Instrumenteneinsatz Nr. 1 durchgeführt wurde, waren Wasserdurchfluß und Intensität auf "maximal" eingestellt. Nur so ist die exakte Reproduzierbarkeit und Überprüfung der Resultate möglich.

2.2.0 Auswahl der Zähne

Für unsere Untersuchungen bildeten wir vier Testgruppen, die aus je zehn menschlichen kariesfreien Zähnen bestanden. Die Auswahl erfolgte rein zufällig und war nicht an einen bestimmten Zahntyp gebunden, Milchzähne, sowie verlagerte und retinierte Zähne, fanden keine Verwendung.

Die Zähne wurden nach der Extraktion von Blut- und Geweberesten gereinigt und in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt, der wir sie während des Versuchsablaufes stets nur kurzfristig entnahmen.

Die Auswahl der Zähne erfolgte nach folgenden Kriterien:

a) unversehrte Schmelzoberflächen

Da bei der Anwendung von Extraktionsinstrumenten Oberflächendefekte entstehen, wurde die für die Kavität vorgesehene Stelle des Zahnes auf Unversehrtheit mit dem Auflichtmikroskop geprüft und mit einem weichen Bleistift gekennzeichnet. Zähne mit mindermineralisiertem Schmelz und Schmelzsprünge konnten auf diese Weise festgestellt und eliminiert werden.

b) geringe Oberflächenkrümmung

Da wir für unsere Oberflächenmessung eine Abtaststrecke von etwa 4,5 mm benötigten und der Pro-

filograph aus meßtechnischen Gründen nur eine geringe vertikale Abweichung der Oberfläche tolerierte, konnten nur Zähne mit leichten Oberflächenkrümmungen verwendet werden.

c) vitale Zähne

Da bei pulpa-dentintoten Zähnen Sprödigkeiten in den Hartsubstanzen auftreten, wurden nur solche Zähne ausgewählt, die bei der Extraktion noch vital waren.

b) unbeschallte Zähne

Nach Durchsicht der Behandlungskarte und Befragung des Patienten konnte weitgehendst sichergestellt werden, daß vor der Extraktion am Zahn keine Ultraschallbehandlung durchgeführt worden war.

2.3.0 Der Prüfkörper

Zur Durchführung der Untersuchungen war es notwendig, eine Versuchsanordnung zu schaffen, die eine exakte Reproduktion ermöglichte. Dieses erreichten wir durch Anfertigung eines Sechskantzylinders (siehe Abb. 1), den wir im folgenden Text als Prüfkörper bezeichnet haben, und einer Prüfkörperhalterung.

Der Prüfkörperrohling bestand aus PALADUR der Firma KULZER und wurde unter genauester Beachtung der Herstellerangaben gegossen. Da der Kunststoffblock durch die Polymerisationsschrumpfung keine planen Flächen aufwies, mußte er mit Hilfe von Sandpapierscheiben nachgearbeitet werden. Nachdem der Rohling mit einer Entnahmenut versehen war und sich unter leichtem Druck und ohne Spiel in die Prüfkörperhalterung einführen ließ, wurde an der Stirnseite des Sechskantzylinders eine Kuhle für die Aufnahme der Zahnkrone gefräst. Die Wurzeln der Zähne waren vorher mit einer Diamantkreissäge unter ständiger Kühlung mit physiologischer Kochsalzlösung abgetrennt worden.

Als nächstes betteten wir die Zahnkronen mit der zuvor gekennzeichneten Fläche nach oben zentral und möglichst waagrecht mit PALADUR ein. Um die Materialeigenschaften des Zahnes nicht durch auftretende Polymerisationswärme beim Einbettvorgang zu verändern, wurde der Prüfkörper in physiologischer Kochsalzlösung gelegt.

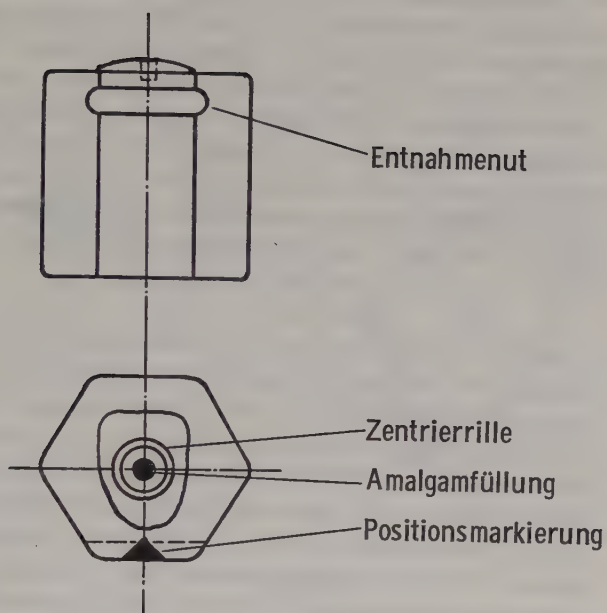


Abb. 1

PRÜFKÖRPER

2.4.0 Die Prüfkörperhalterung

Zur Aufnahme des Prüfkörpers wurde in eine kreisrunde Edelstahlscheibe ($\varnothing$ 50 mm, Dicke 24 mm) ein gleichmäßiges Sechseck mit einer Kantenlänge von 10 mm zentrisch, 13 mm tief eingefräst. Aus technischen Gründen mußten die senkrechten Kanten der Ausfräsung mit einem Zylinderfräser ausgeweitet werden. Durch zwei Kugelfederstifte, die im Zentrum zweier benachbarter Flächen angebracht waren, konnten wir eine eindeutige Fixation des Prüfkörpers in seiner Halterung sicherstellen.

An der Unterseite der Scheibe wurde der Scheibendurchmesser auf einer Länge von 12 mm auf $\varnothing$ 35 mm abgedreht (siehe Abb. 2). Auf diesen Absatz wurde ein Ring ($\varnothing$ innen 35 mm, $\varnothing$ außen 50 mm, 12,5 mm dick) so aufgepaßt, daß sich die Edelstahlscheibe ohne Spiel drehen ließ. Da wir die Amalgamfüllungen um jeweils 30 Winkelgrade versetzt mit dem Profilographen abfahren wollten, wurden Ring und Scheibe durch einen Kugelraster in der Weise eingestellt, daß eine exakte Zwölfteilung des Kreises erfolgte. Durch Markierung legten wir die Positionen 1 - 12 fest. Diese Positionen waren exakt reproduzierbar.

PRÜFKÖRPERHALTERUNG

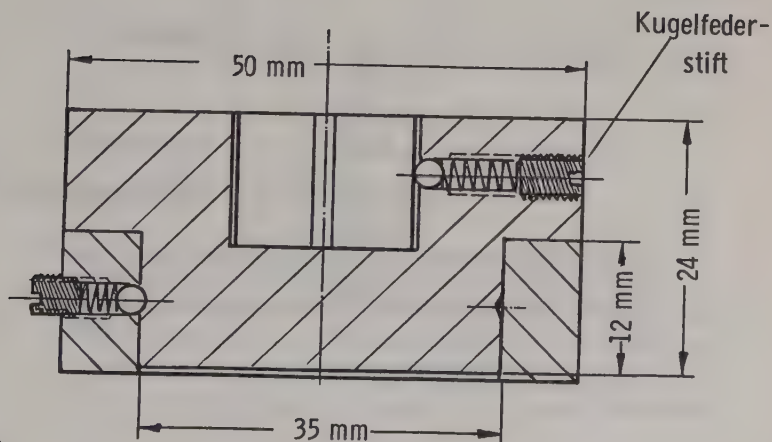
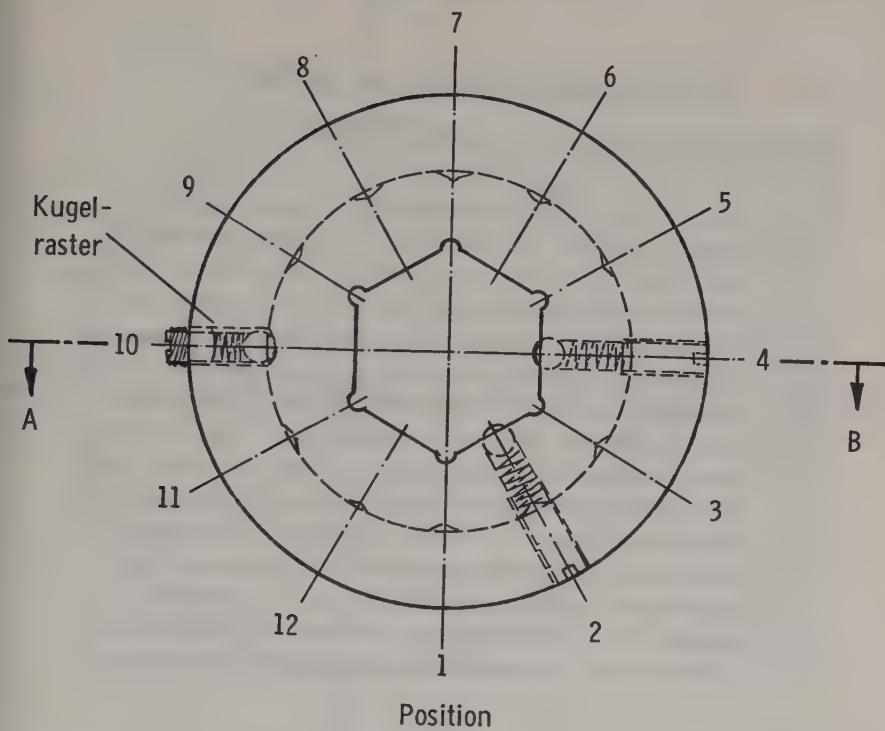


Abb. 2

Schnitt A - B

2.5.0 Zentrierung und Herstellen der Kavität

2.5.1 Die Zentrierung

Da wir die Amalgamfüllungen um jeweils 30 Winkelgrade versetzt mit dem Profilographen abfahren wollten, war es für uns wichtig, daß Drehpunkt der Prüfkörperhalterung und Füllungsmittelpunkt des fixierten Prüfkörpers identisch waren. Eine wesentliche Erleichterung bei der Zentrierung der Kavität stellte die von uns entwickelte Zentrierscheibe (siehe Abb. 4) mit Zentrierstift dar. Hierzu wurde der Zentrierstift in die Spannzange der Fräs- und Parallel-Bohrmaschine nach FREY der Firma SEITZ u. HAAG eingespannt und die Prüfkörperhalterung mit aufgesetzter Zentrierscheibe durch Absenken der Frässpindel ausgerichtet (Abb.3). Als nächstes fixierten wir den Ring der Halterung auf dem Magnetisch der Bohrmaschine. Frässpindelmittelpunkt

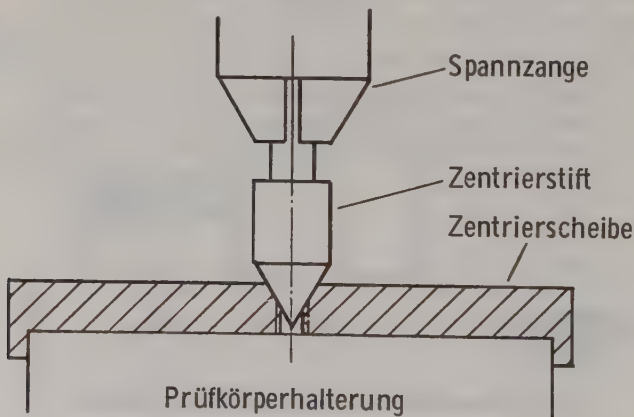


Abb. 3

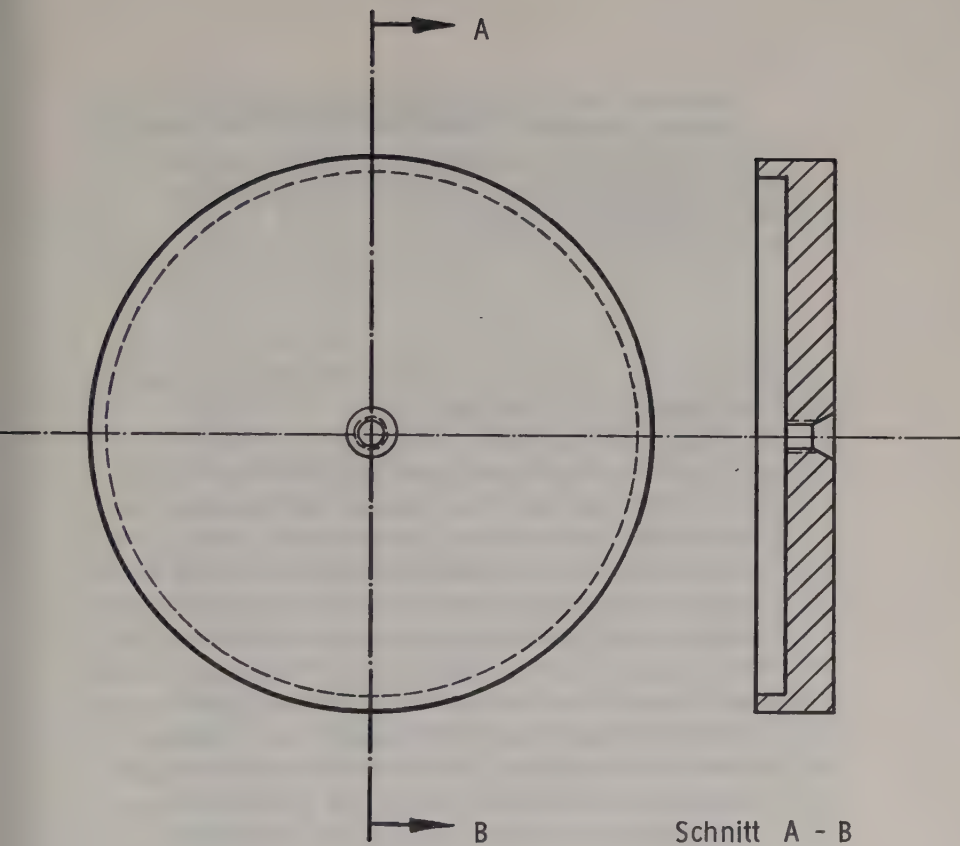


Abb. 4

Zentrierscheibe

und Drehpunkt der Prüfkörperhalterung waren somit identisch. Zur Herstellung der Kavität wurde der Zentrierstift durch einen zylindrischen Diamant-Schleifkörper ersetzt, die Zentrierscheibe

abgenommen und der Prüfkörper in die Sechskantpassung eingeführt. Durch Beachtung einer Markierung auf der Oberseite des Prüfkörpers und der Prüfkörperhalterung waren die anliegenden Flächen immer dieselben.

2.5.2 Die Herstellung der Kavität

Um die einzelnen Amalgamsorten exakt vergleichen zu können, war es unter anderem wichtig, eine Kavität von definiertem Durchmesser und Tiefe herzustellen. Hierfür frästen wir unter mäßigem Druck schrittweise mit einem zylindrischen Diamant-Schleifkörper unter Spraykühlung eine Kavität mit einem Durchmesser von 1,2 mm und einer Tiefe von 2,5 mm. Die exakte Tiefe erreichten wir durch Arretierung der Tiefenbegrenzung des Arbeitsgerätes. Danach wurde die endgültige Größe der Kavität mit einem flammenförmigen Stahlfinierer ($\varnothing$ 1,40 mm) dessen Spitze um 2 mm gekürzt war, fertiggestellt.

Vorversuche haben ergeben, daß eine Kavität, die mit einem Diamant-Schleifkörper ($\varnothing$ 1,4 mm) hergestellt war, nicht mehr auf die gleiche Größe zu finieren ist (Gewindeprinzip). Somit war die Verwendung von rotierenden Dentalinstrumenten unterschiedlicher Größe notwendig, um eine exakte ($\varnothing$ 1,4 mm) und ausreichend finierte Kavität sicherzustellen.

2.6.0 Die verwendeten Amalgame

In der Zahnheilkunde zählen die Silberamalgame zu den meist gebräuchlichen plastischen Füllungsmaterialien bei der konservierenden Behandlung im Bereich der Seitenzähne.

Unter Amalgam versteht man Legierungen bei denen eine Komponente Quecksilber ist. Die weiteren Legierungsbestandteile können z.B. Silber, Zinn, Kupfer und Zink sein; diese Metalle haben sich für die Herstellung dentaler Amalgame als geeignet erwiesen. Das Amalgam wird durch Mischen von Quecksilber (Hg) mit den in Pulverform vorliegenden Metallen, Alloy oder Feilung genannt, hergestellt. Für die physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Füllungsmaterialien ist das Mischungsverhältnis von Quecksilber zu Feilung, vor allem aber auch die Zusammensetzung dieser Feilung von großer Bedeutung (DREYER-JØRGENSEN, 5, KROPP, 15, 16, 17). Für die Zusammensetzung von Silberamalgame hat die Fédération Dentaire Internationale (FDI) die Spezifikation Nr. 1 (Tab. 1) herausgegeben.

Legierungsbestand- teile der Amalgame in Gew. - %	FDI - Spez. Nr. 1	gamma-2-frei
Silber	min. 65	- 70
Zinn	max. 29	16.0 - 18
Kupfer	max. 6	10.5 - 13
Zink	max. 2	max. 2

Tab. 1

Die handelsüblichen Amalgame unterscheiden sich neben der Zusammensetzung auch durch Größe und Form von Pulverteilchen (Späne, Splitter, Körnchen, grob, mittel und fein) und durch die Darreichungsform (vordosierte Kapseln, Tabletten oder Pulver). Eine Veränderung der Zusammensetzung der Amalgamlegierungen entstand durch die Entwicklung eines neuen Amalgamtyps, der sogenannten Dispersions- oder gamma-2-freien Amalgame, die sich durch Verbesserungen seitens der Metallographie (KROPP, 14, 16) sowie der besseren klinischen Beständigkeit auszeichnen (CASTAGNOLA/WIRZ/GABEROGGIO, 1). Wir verwendeten für unsere Untersuchungen die in Tabelle 2 aufgeführten Amalgame.

Unsere Untersuchungen wurden mit folgenden vier Amalgamsorten durchgeführt:

	Amalcap F	Amalcap non gamma 2	Dispos-a-cap	Optaloy II
gamma-2-Phase	gamma-2-haltig	gamma-2-frei	gamma-2-frei	gamma-2-arm
Alloy	konventionell	konventionell + pulverisiertem Kupfer - Silber - Eutektikum		konventionell, jedoch höherer Kupfergehalt
Alloy : Hg ^{*)}	1 : 1.2	1 : 1.2	1 : 1	1 : 1.2
Triturationszeit ^{*)} (SILAMAT)	5 sec	5 sec	5 sec	10 sec

^{*)} entsprechend den Herstellerangaben

Tab. 2

Wie aus der Tabelle 1 hervorgeht, weichen die gamma-2-freien Amalgame in ihrer metallurgischen Zusammensetzung von den konventionellen durch die in der FDI-Spezifikation Nr. 1 beschriebenen Legierungen ab.

2.6.1 Legen und Politur der Amalgamfüllung

Nachdem die Zähne gründlich von Bohrspänen gereinigt und mit dem Luftpüster getrocknet waren, wurden die oben genannten Füllungsmaterialien in die Kavitäten eingebracht.

Um ein exaktes Mischungsverhältnis einzuhalten, verwendeten wir nur Kapselamalgame. Das Anmischen des Füllungsmaterials erfolgte mit dem SILAMAT. Da die Anmischzeit einen großen Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften hat, (WIRZ, MAZENAUER, CASTAGNOLA, 38) erfolgte die Zubereitung nach den jeweiligen Herstellerangaben. Das der Kapsel entnommene Amalgam wurde ohne Fingerkontakt in ein Dappenglas gefüllt und mit einer Amalgampistole entnommen. Zur Kondensierung, die von Hand unter möglichst gleichmäßigem Druck erfolgte, verwendeten wir einen Kugelstopfer. Nachdem die Überschüsse mit einem Heidemannspatel entfernt und die Füllung geglättet worden war, verblieben die Zähne bis zur weiteren Bearbeitung in physiologischer Kochsalzlösung. Die Politur erfolgte frühestens nach einer Woche unter Spraykühlung mit Stahlfinierer und Gummipolierer.

2.7.0 Das Oberflächenmeßgerät

Die Erfassung der Rauhtiefen erfolgte sowohl qualitativ (Rasterelektronenmikroskopie) als auch quantitativ. Wir benötigten ein Gerät, welches Oberflächenprofile mißt, registriert und aufzeichnet. Hierzu verwendeten wir den Profilographen der Firma FÖRSTER, Typ 5.815.

Die zu untersuchende Oberfläche wird hierbei von einer Diamantnadel (Spitzenwinkel 60°), Spitzenradius $10\text{ }\mu\text{m}$) mit einer Auflagekraft von $0,1\text{ g}$ und einer Vorschubgeschwindigkeit von $0,5\text{ mm sec}^{-1}$ abgefahren (FÖRSTER, 9). In einem elektromechanischen Wandler wird die Bewegung der Tastnadel in elektrische Spannung umgesetzt. Ein in das Gerät integrierter Schreiber registriert das ihm zugeführte Signal auf Millimeterpapier, so daß ein Profilschrieb entsteht. Durch exakt reproduzierbare Meßstrecken war es möglich, Profilveränderungen direkt abzulesen und zu vergleichen.

Der Meßvorgang wird durch Entriegelung des Vorschubes ausgelöst, den man zuvor durch Handaufzug einer Spiralfeder spannt. Der Rücklauf ist hydraulisch gedämpft. Hierdurch ist die Gleitgeschwindigkeit der Tastnadel konstant.

Grundsätzlich wurde der Profilograph vor Beginn einer Meßreihe mit Hilfe des "Rauhnormal", einem Profil mit vorgegebener Rauhtiefe geeicht. Meßbereich ($30\text{ }\mu\text{m}$), Vorschubgeschwindigkeit des Registrierpapiers (200 mm sec^{-1}) und Wellenbegrenzer ($0,25\text{ mm}$) blieben während der Messungen konstant.

2.7.1 Die DIN-Norm 4768

Neben der beschreibenden, qualitativen Betrachtungsweise der Oberflächenveränderung suchten wir nach einer Methode, die es uns erlaubte, quantitative Oberflächenveränderungen aus den Profilschrieben herauszulesen und die abgelesenen Meßdaten miteinander zu vergleichen. Für unsere Untersuchungen bot sich die DIN-Norm 4768 an. Diese DIN-Norm gilt zur "Ermittlung vergleichbarer Rauheitsmeßwerte technischer Oberflächen mittels Tastschnittgeräten mit elektrischer Übertragung, Hochpaßfilterung und Auswertung". Obwohl wir in unsere Messungen auch biologische Oberflächen (Schmelz), für die eigentlich eine andere, bisher aber noch nicht vorhandene DIN-Norm in Betracht kommen müßte, miteinbezogen, der Anteil der technischen Oberfläche (Füllungs-material) jedoch bei über 80 % lag, schien uns die Verwendung dieser Norm sinnvoll. Als zweckmäßig erwies sich die mittlere Rauhtiefe, deren arithmetisches Mittel aus jeweils fünf gleichlangen

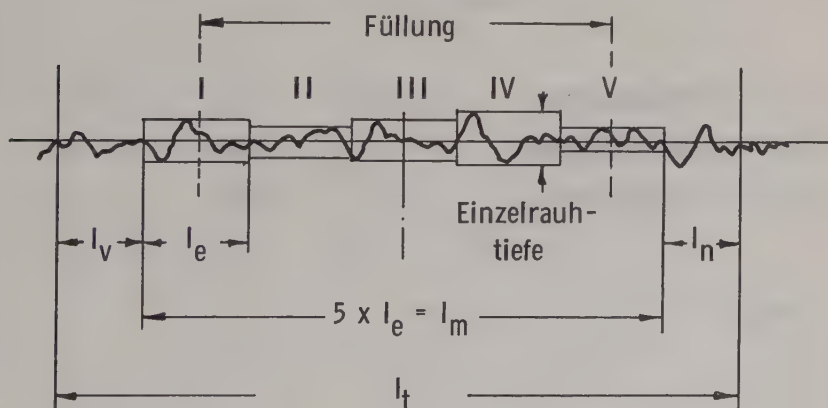
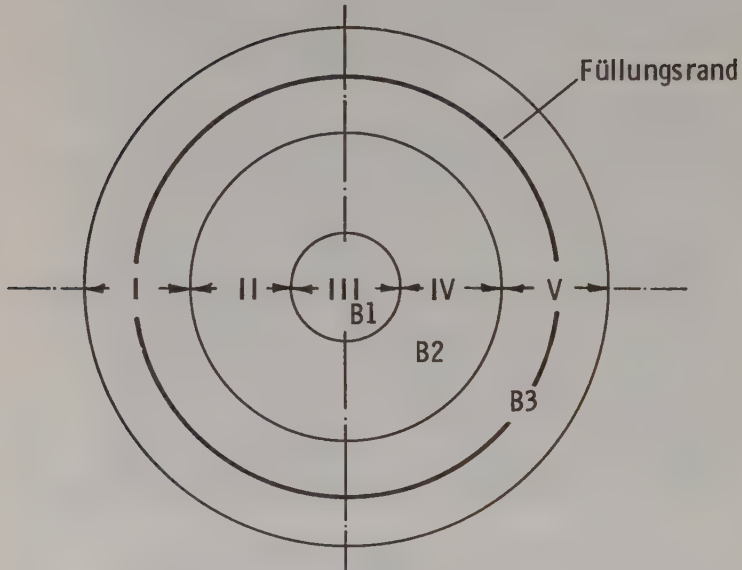


Abb. 5

Einzelmeßstrecken, in unserem Falle Zonen (siehe Abb. 5) genannt, errechnet wird.



B1 = Füllungsmitte	entspricht	Zone	III
B2 = Zwischenbereich	"	Zone	II + IV
B3 = Füllungsrand	"	Zone	I + V

Abb. 6

Die Taststrecke l_t besteht aus Vorlaufstrecke l_v , den fünf Einzelmeßstrecken l_e (Zone I - V) und der Nachlaufstrecke l_n . Die Einteilung in die Bereiche 1 - 3 der Zahnoberfläche durch Kreisringe hat zur Folge, daß sich bei der Messung der Rauhtiefe die Zonen I und V bzw. II und IV entsprechen (siehe Abb. 6).

Ausgewertet wurde das Rauheitsprofil, das dem Istprofil nach Filterung mit einem Wellenfilter entspricht. Der Wellenfilter (Hochpaßfilter) ist eine Einrichtung, die bewirkt, daß langwellige Anteile des Istprofils entsprechend der Filtercharakteristik, in unserem Falle 0,25 mm, unterdrückt werden und nicht oder nur teilweise in das Meßergebnis eingehen.

2.7.2 Die Justierung des Profilographen

Da wir bei unseren Messungen sowohl Amalgamfüllung als auch die unmittelbare Umgebung (Randspalt) auf Oberflächenveränderungen untersuchen wollten, war es für uns wichtig, einen geringen Schmelzanteil mit einzubeziehen. Unsere Meßstrecke, die sich aus fünf Einzelmeßstrecken zusammensetzte, wurde deshalb bei einem Füllungsdurchmesser von 1,4 mm um 0,3 mm erweitert, so daß ein 0,15 mm breiter Schmelzbereich mit erfaßt wurde, somit betrug die Meßstrecke 1,7 mm. Um jedoch die Anteile von Füllung und Schmelz jeweils konstant zu halten, war es erforderlich, daß die Tastnadel des Profilographen genau durch die Füllungsmitte verlief. Da, wie schon vorher beschrieben, Füllungsmittelpunkt und Prüfkörperhalterungsdrehpunkt identisch waren, verwendeten wir die von uns entwickelte Zentrierscheibe mit dem dazugehörigen Profilographenzentrierstift (Abb. 7).

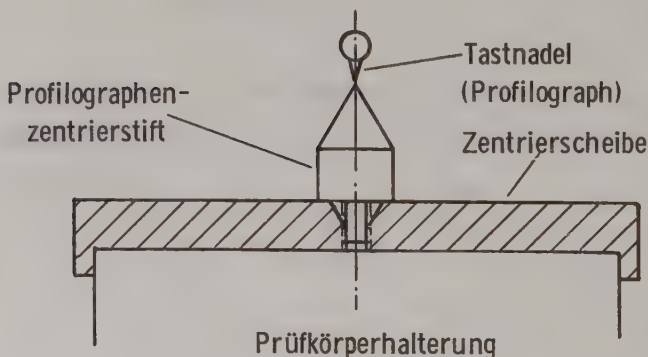


Abb. 7

Hierzu wurde die Prüfkörperhalterung auf einen Parallelverschiebetisch verschraubt, der wiederum auf dem Stativtisch des Profilographen fixiert war. Durch Parallelverschiebung konnte jetzt Zentrierstiftspitze und Abtastnadel so eingestellt werden, daß die Meßstrecke des Profilographen durch den Füllungsmittelpunkt verlief. Die Zentrierrille stellte sich auf den Profilschrieben als eindeutige Markierung dar (siehe Abb. 10).

2.7.3 Die Randspaltregistrierung

Nachdem der Profilograph, wie vorher beschrieben, justiert war, ergab sich die Frage, wie wir aus dem Profilschrieb die 1,7 mm lange Meßstrecke exakt erkennen und auswerten konnten. Da bei unseren Messungen gleiche Meßstrecken Voraussetzung für die Beurteilung von quantitativen Oberflächenveränderungen waren, suchten wir nach einer Methode, die eine Reproduzierbarkeit sicherstellte.

DINGES/JOCHUM, (4) kennzeichneten zu diesem Zweck während des Abtastens der Oberfläche die Stelle auf dem Profilschrieb, bei der die Tastnadel den Füllungsrand erreicht hatte. Dies wurde optisch mit Hilfe einer Lupe festgestellt. Vorversuche hatten jedoch ergeben, daß diese Methode sehr subjektiv war und weder eine reproduzierbare Meßstrecke, noch die exakte Kennzeichnung der Lage der Füllung auf dem Profilschrieb zuließ. Wir erreichten die Forderung nach Reproduzierbarkeit durch eine Zentrierille, die mit einer Lochfräse (Innendurchmesser 4,1 mm) etwa 0,5 mm tief angelegt wurde.

Das Anbringen der Fräsung erfolgte nach dem Finieren der Kavität bei unveränderter Lage des Prüfkörpers. Der Mittelpunkt des Kreises der Zentrierille und der Kavität waren somit identisch.

Da der Innendurchmesser der Lochfräse exakt 4,1 mm betrug, konnten wir eine eindeutige Aussage über den Füllungsmittelpunkt machen. Die Lage des Randspaltes

war somit rein rechnerisch (Mittelpunkt $\pm \frac{1}{2}$ Füllungs- $\emptyset$) zu ermitteln. Durch die Unversehrtheit der Zentrierrille, die bei der Beschallung nicht tangiert wurde, konnte der Randspalt jederzeit auf dem Profilschrieb bestimmt werden (siehe Abb. 10).

2.8.0 Die Beschallung der Zähne

Wir bildeten für unsere Untersuchungen vier Testgruppen, die aus je zehn Zähnen bestanden. Um für jeden Zahn die gleichen Versuchsbedingungen einzuhalten, waren wir bestrebt, Beschallungsintensität, Beschallungsdruck, Beschallungswinkel und Beschallungszeit konstant zu halten.

Die Beschallungsintensität war von unserem Ultraschallgerät LT 200 der Firma LITTON vorgegeben. Leistungs- und Wasserzuleitungsregler standen am Gerät auf "maximal". Alle Ultraschallbehandlungen erfolgten mit dem Instrumenteneinsatz Nr. 1, einer spitz zulaufenden, am Arbeitsende stumpfen Kürette. Um den Beschallungsdruck möglichst konstant zu halten, verwendeten ELLMANN (8), SPRANGER (33), HÜTTEMANN (12), SCHRÖDER (27) und DINGES/JOCHUM (4) eine Briefwaage. Hierzu wurde der Prüfkörper auf die Waage gelegt und mit der Instrumentenspitze solange auf den Zahn gedrückt, bis die nötige Kraft auf der Meßskala erreicht war. Vorversuche ergaben jedoch, daß bei der Beobachtung des Arbeitsfeldes während der Beschallung eines Zahnes die Überwachung des Beschallungsdruckes

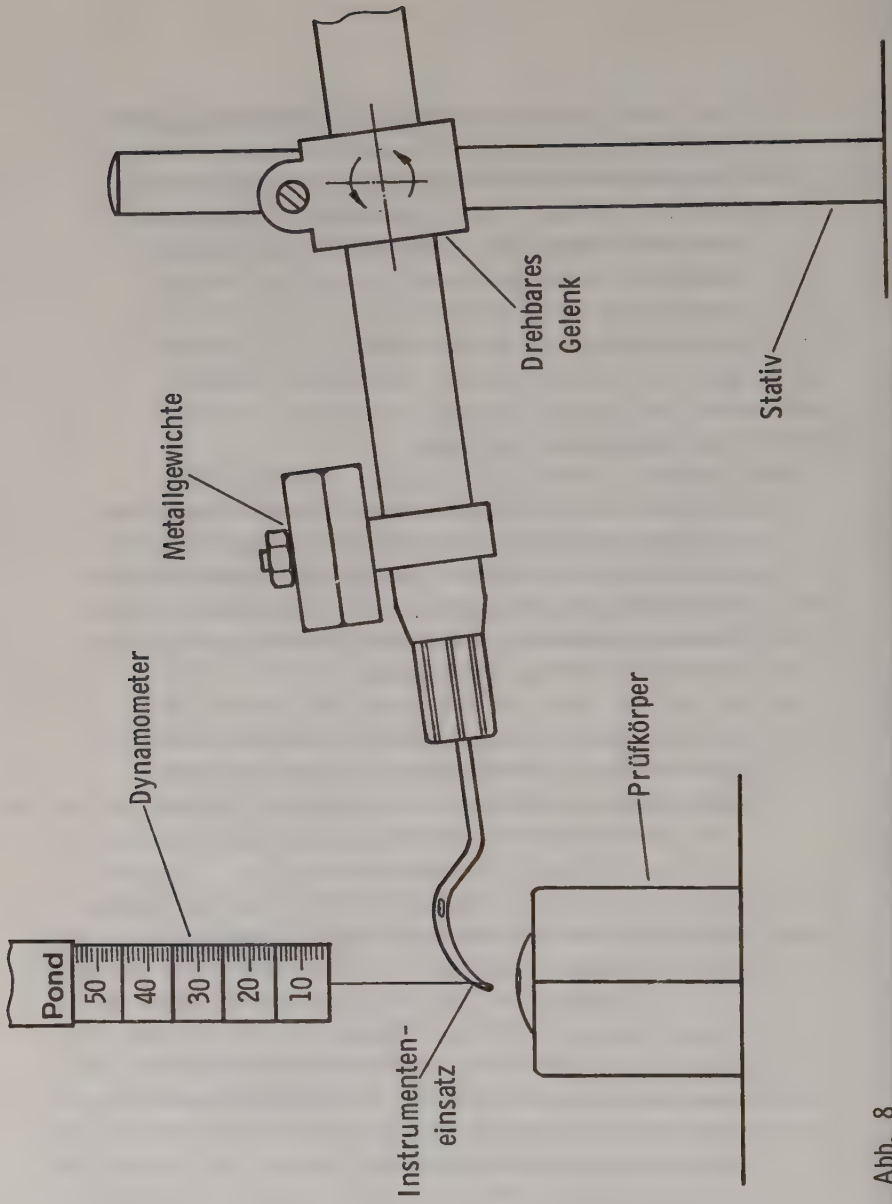


Abb. 8

nicht immer ausreichend möglich und somit Schwankungen unterworfen ist. Um diese Fehlerquelle auszuschalten, entwickelten wir zusammen mit RABE (22) ein Stativ mit einem drehbaren Gelenk, in welches das Handstückende des Ultraschallgerätes eingespannt (siehe Abb. 8) wurde. Durch Beschwerung des Handstückes mit Metallscheiben am vorderen Ende war es nun möglich, verschiedene Auflagekräfte einzustellen, die mit Hilfe des Dynamometers gemessen und entsprechend korrigiert werden konnten. Die in der Literatur erwähnte Größe der Auflagekraft ist sehr unterschiedlich. Sie beträgt bei: SPRANGER (33) 100 p, HÜTTEMANN (12) 40 - 70 p, SCHRÖDER (27) und DINGES/JOCHUM (4) jeweils 60 p. Wir verwendeten bei unseren Versuchen eine Auflagekraft von 50 p.

Die Beschallungszeit betrug bei unseren Versuchen in Anlehnung an DINGES/JOCHUM 2×10 sec. Die von uns beschallte Fläche setzte sich zusammen aus Füllungsanteil ($\varnothing 1,4$ mm) und einem ca. 1 mm breiten Schmelzanteil. Die exakte Einhaltung der Beschal-



Abb. 9

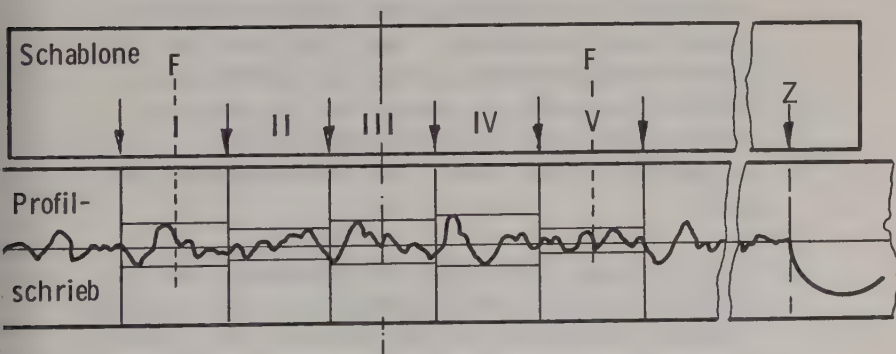
lungsdauer war durch eine elektrische Zeitschaltuhr, die zwischen Stromquelle und Ultraschallgerät geschaltet war, möglich. Die Oberflächenmessungen erfolgten vor, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung.

Die Prüfkörper wurden hierbei gleichmäßig unter ständigen Kontakt mit der Instrumentenspitze von Hand in Kreisbahnen auf der Unterlage bewegt.

Da es wichtig war, für alle Zähne gleiche Bedingungen zu erhalten, legten wir den Beschallungswinkel durch eine Klemmvorrichtung in der das Ende des Handstückes des Ultraschallgerätes fixiert wurde, fest (siehe Abb. 8 u. 9). Die empfohlene Technik des Herstellers ist "vertikales Ansetzen der Instrumentenspitze mit Parallelführung zum Zahn". In der Literatur sind Winkel zwischen 10° und 30° SCHAFFER (26), SPRANGER (32), DIEDRICH (3), STAPFF (35) angegeben. Wir hielten einen Beschallungswinkel von 10° für sinnvoll.

2.8.1 Die Auswertung der Profilschriebe

Nach Aufzeichnung der Zahnoberfläche durch den Profilographen lag uns ein Profilschrieb vor, auf dem als eindeutige Markierung nur die Zentrierrille zu erkennen war. Eine Aussage ohne Berücksichtigung dieser Markierung über die Lage der Füllung konnte nicht gemacht werden. Da der Mittelpunkt von kreisförmiger Zentrierrille und Füllung identisch war, konnte jeweils die gleiche Meßstrecke mit Hilfe einer Schablone bestimmt werden (Abb. 10). Die Schablone legten wir so an den Profilschrieb an, daß sich Zentrierrille mit entsprechendem Markierungspfeil deckte. Danach wurden die fünf Einzelmeßstrecken übertragen, und die Einzelrauhtiefe mit Hilfe



Z = Zentrierrille
F = Füllungsrand

I - V = Zoneneinteilung

Abb. 10

eines Lineals abgelesen. Die so ermittelten Werte trugen wir in eine Tabelle ein und werteten sie anschließend statistisch aus.

Zur Beurteilung einer Zahnoberfläche wurden jeweils sechs Gesamtmeßstrecken, die um 30 Winkelgrade versetzt waren, herangezogen.

2.9.0 Die rasterelektronenmikroskopische Darstellung

Zur rasterelektronenmikroskopischen Darstellung war es notwendig, die jeweiligen Beschallungszustände der Zahnoberflächen festzuhalten. Wir erreichten dies durch die Replikatechnik. Hierbei wurde von der zur Darstellung vorgesehenen Zahnoberfläche eine Abformung mit TECHNOVIT 5071 der Firma KULZER hergestellt. Die Einhaltung des exakten Mischungsverhältnisses Pulver/Flüssigkeit erfolgte mit Präzisionswaage bzw. Mikropipette. Ein Verformen des Abdruckes konnte durch eine entsprechende Stärke (etwa 5 mm) ausgeschlossen werden.

Zur Abformung versahen wir die Zahnoberfläche mit einem Silikonwall, der das Wegfließen des flüssigen TECHNOVITS verhinderte. Danach wurde der Prüfkörper in einen Drucktopf, der mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt war, bei 2 atü für 20 Minuten

verschlossen, um das Auspolymerisieren des Kunststoffes und somit eine genaue Abformung der Zahnoberfläche zu gewährleisten. Eine Kontrolle der so gewonnenen Abformungen erfolgte mit dem Auflichtmikroskop. Danach wurden die Proben zunächst mit Gold 500 Å dick bedampft. Die Untersuchungen erfolgten mit dem Rasterelektronenmikroskop PSEM 500 der Firma PHILLIPS, die Elektronenstrahlspannung betrug 25 KV. Für unsere Aufnahmen wählten wir die Normalabbildung und die Y-Modulation. Bei der Y-Modulation handelt es sich um eine "Aufzeichnung mit geringerer Zeilenzahl bzw. einzeilig und Auslenkung des Strahles in vertikaler Y-Richtung" (REINER/PFEFFERKORN, 23).

3.0.0 Untersuchungsergebnisse

Entsprechend dem zuvor geschilderten Versuchsaufbau werden die Ergebnisse nach Rauhtiefenmessung und rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen abgehandelt. Zum besseren Verständnis der Tabellen 4 - 8 wurde eine Indexerläuterung hinzugefügt (siehe 43).

3.1.0 Statistische Auswertung der Rauhtiefenmessung

Die bei der Messung der Rauhtiefe gewonnenen Daten wurden mit Hilfe der Varianzanalyse ausgewertet.

Es waren die folgenden Faktoren gegeben:

A = Zonen:

Die Zahnoberfläche wurde durch Kreisringe in fünf Zonen eingeteilt.

B = Behandlung:

Die Rauhtiefe der einzelnen Zonen wurde nach der Politur der Füllung, nach der ersten und nach der zweiten Behandlung mit Ultraschall gemessen.

C = Zähne (Wiederholung):

Die Messungen wurden unter konstantgehaltenen Bedingungen an $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte wiederholt.

D = Amalgamsorten:

Die Messung der Rauhtiefe in den Zonen vor, nach erster und nach zweiter Beschallung wurden für vier verschiedene Amalgamsorten wiederholt.

Die Faktoren A, B und D sind fixed Faktoren, C ist ein random Faktor. Der Faktor D ist mit den Faktoren A und B voll kombiniert. Der Faktor C ist abhängig

von Faktor D, C (D). Es sollte der Einfluß der Amalgamsorten und der Beschallung auf die Rauhtiefe in den einzelnen Zonen untersucht werden.

Dazu wurden folgende H_0 -Hypothesen formuliert.

Faktor D: Einfluß der Amalgamsorten:

$H_{0,D}$: Die Rauhtiefen sind für alle Amalgamsorten gleich.

Faktor B: Einfluß der Beschallung:

$H_{0,B}$: Die Rauhtiefen sind nach der Politur der Füllung, nach der ersten Beschallung und nach der zweiten Beschallung im Mittel gleich groß.

Faktor A: Einfluß der Zonen:

$H_{0,A}$: Die mittlere Rauhtiefe ist in den Zonen ungefähr gleich groß.

Die Alternativhypothesen (H_1 -Hypothesen) verneinen die aufgestellten H_0 -Hypothesen.

Z.B. $H_{1,D}$: Die mittleren Rauhtiefen sind nicht für alle Amalgamsorten gleich (zweiseitige Alternativhypothese).

Da außerdem auch die Wirkung einzelner Faktoren aufeinander untersucht werden sollte, wurden die folgenden H_0 -Hypothesen für die Wechselwirkung definiert:

Wechselwirkung Amalgamsorte und Beschallung DB:

$H_{O\ DB}$: Die Veränderung der Rauhtiefe durch die Beschallung ist bei allen Amalgamsorten gleich.

Wechselwirkung Zone, Beschallung A B.

$H_{O\ AB}$: Das Verhalten der Rauhtiefe in den einzelnen Zonen wird durch die Beschallung nicht geändert.

Wechselwirkung zwischen den Amalgamsorten und den Zonen DA.

$H_{O\ DA}$: Die Amalgamsorten haben auf das Verhalten der Rauhtiefe in den einzelnen Zonen keinen Einfluß.

Auch bei der Wechselwirkung sind die Alternativhypothesen wieder die Verneinung der H_O -Hypothesen.

Die H_O -Hypothesen werden mit Hilfe der zugehörigen F-Tests überprüft. Die H_O -Hypothese soll abgelehnt werden, wenn bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art von $\alpha \leq 0,05$ der errechnete F-Wert größer ist als der theoretische F-Wert. Die mittleren Abweichungsquadrate, die F-Werte der Faktoren und dazugehörigen Freiheitsgrade sind in der folgenden Tabelle angegeben.

FAKTOR

SAQ

MAQ

FG

SAQ_{Nenner}

FG

MAQ_{Nenner}

F

F' (0.05; FG_{Zähler} / FG_{Nenner})

A = Zone

B = Beschallung

D = Amalgam

Wechselwirkung
Beschallung /
Amalgam

Wechselwirkung
Zone / Amalgam

Wechselwirkung
Beschallung / Zone

8.77

496.07

7.02

14.003

3.33

16.695

2.19

248.04

2.34

2.33

0.277

2.08

4

2

3

6

12

8

SAQ_{AC} (D) = 56.30

SAQ_{BC} (D) = 46.30

SAQ_C (D) = 79.92

SAQ_{BC} (D) = 37.38

SAQ_{AC} (D) = 56.30

SAQ_{ABC}(D) = 120.96

144

72

36

54

144

288

0.391

0.643

2.22

0.692

0.391

0.420

5.601

385.9

3.15

3.63

0.708

4.95

2.44

3.13

2.86

2.29

1.82

1.98

FG = Freiheitsgrade

F' = theoretischer F - Wert

MAQ = mittlere quadratische Abweichung,

F = errechneter F - Wert

SAQ = Summe der Abweichungsquadrate,

Tab. 3

Die Nullhypothese konnte für die Faktoren A, B, D ($\alpha < 5\%$) und für die Wechselwirkung AB, DB abgelehnt werden (siehe Tab. 3).

Bemerkung: Die Irrtumswahrscheinlichkeit für den Fehler 1. Art für die H_0 -Hypothese des Faktors B ist wesentlich kleiner als 5% ($\alpha < 0,05$).

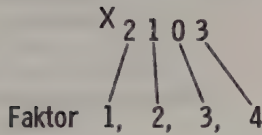
Als nächstes sollte bei den Faktoren, für die die H_0 -Hypothese abgelehnt werden konnte, überprüft werden, bei welchen Mittelwertdifferenzen die H_0 -Hypothese der zufälligen Abweichungen von 0 abgelehnt werden konnte.

Diese H_0 -Hypothese wurde mit Hilfe der linearen Kontraste und dem Test von SCHEFFEE überprüft. Die untersuchten Mittelwerte, die Mittelwertdifferenz und die zugehörige Testgröße sind in den Tabellen 4 - 8 zusammengefaßt. Die Zoneneinteilung der Zahnoberfläche durch Kreisringe hat zur Folge, daß bei der Messung der Rauhtiefe die Zonen I und V und II und IV einander entsprechen (siehe Abb. 6).

Aus diesem Grunde wurden die mittleren Rauhtiefen der Zonen I und V gegen die mittleren Rauhtiefen der Zone III bzw. gegen die mittleren Rauhtiefen der Zonen II und IV getestet.

3.1.1 TABELLEN UND DIAGRAMME

Indexerläuterung



1. Faktor Zone I - V

2. Faktor Zustand 1, 2, 3

1 = nach Politur

2 = nach 10 sec Beschallung

3 = nach 20 sec Beschallung

3. Faktor Zähne (Wiederholung)

4. Faktor Amalgamsorte 1 - 4

1 = AMALCAP F

2 = AMALCAP NON GAMMA 2

3 = OPTALLOY II

4 = DISPOS-A-CAP

0 bedeutet, daß über den jeweiligen Faktor gemittelt wurde.

Mittelwertsvergleich für die Faktoren

A = Zone
B = Beschallung
D = Amalgamsorte

Kontrast (Differenz d. Mittelwerte)	Differenz	errechneter F - Wert	theoretischer F - Wert
A)			
$X_{1000} + X_{5000} - (X_{2000} + X_{4000})$	0.27	1.68	2.44
$X_{1000} + X_{5000} - 2X_{3000}$	0.27	1.12	2.44
$X_{2000} + X_{4000} - 2X_{3000}$	0.31	1.48	2.44
B)			
$X_{0100} - X_{0200}$	2.14	128.2	3.13
$X_{0100} - X_{0300}$	1.59	70.8	3.13
$X_{0200} - X_{0300}$	0.55	8.47	3.13
D)			
$X_{0001} - X_{0002}$	0.15	0.06	2.86
$X_{0001} - X_{0003}$	0.24	0.16	2.86
$X_{0001} - X_{0004}$	0.01	0.00	2.86
$X_{0002} - X_{0003}$	0.10	0.03	2.86
$X_{0002} - X_{0004}$	0.16	0.06	2.86
$X_{0003} - X_{0004}$	0.26	0.18	2.86

Tab. 4

Mittelwertsvergleich nach Politur der Füllung, nach 10 sec Beschallung
und nach 20 sec Beschallung

- a) Füllungsrand
- b) Zwischenbereich
- c) Füllungsmitte

Kontrast (Differenz d. Mittelwerte)	Differenz	errechneter F - Wert	theoretischer F - Wert
a)			
$X_{1100} + X_{5100} - (X_{1200} + X_{5200})$	3.45	255.0	1.98
$X_{1100} + X_{5100} - (X_{1300} + X_{5300})$	2.80	168.0	1.98
$X_{1200} + X_{5200} - (X_{1300} + X_{5300})$	0.65	9.05	1.98
b)			
$X_{2100} + X_{4100} - (X_{2200} + X_{4200})$	4.76	485.5	1.98
$X_{2100} + X_{4100} - (X_{2300} + X_{4300})$	3.38	244.8	1.98
$X_{2200} + X_{4200} - (X_{2300} + X_{4300})$	1.38	40.8	1.98
c)			
$X_{3100} - X_{3200}$	2.52	272.1	1.98
$X_{3100} - X_{3300}$	1.81	140.4	1.98
$X_{3200} - X_{3300}$	0.71	21.6	1.98

Tab. 6

Mittelwertsvergleich der Amalgamsorten AMALCAP F, AMALCAP NON GAMMA 2, OPTALOY II und DISPOS-A-CAP nach Politur, 10 sec Beschallung und 20 sec Beschallung.

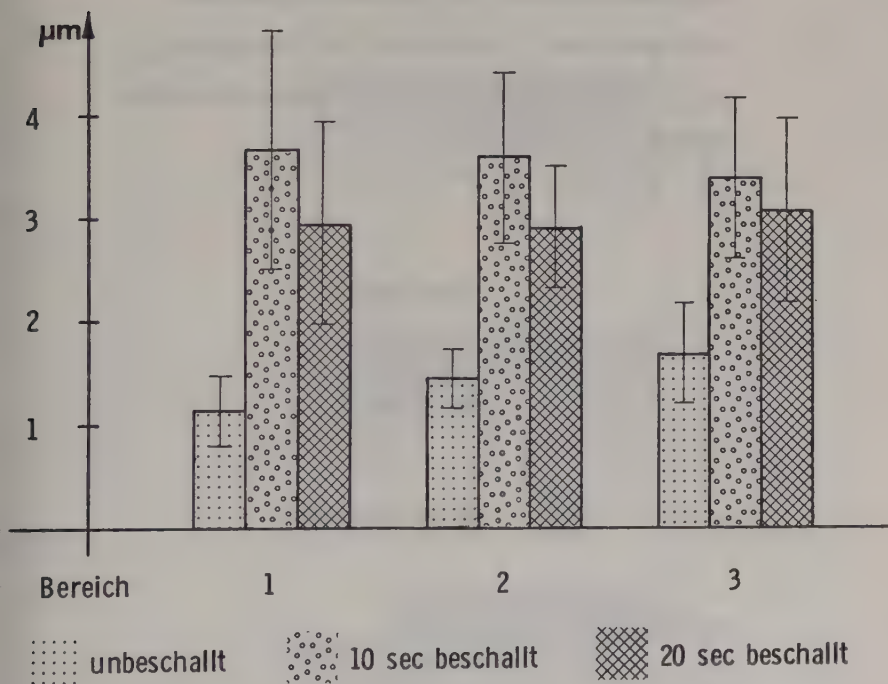
Kontrast (Differenz d. Mittelwerte)		Differenz	errechneter F - Wert	theoretischer F - Wert
Amalcap F	$X_{0101} - X_{0201}$	2.25	32.9	2.29
	$X_{0101} - X_{0301}$	1.15	8.6	2.29
	$X_{0201} - X_{0301}$	1.10	7.9	2.29
Amalcap non gamma 2	$X_{0102} - X_{0202}$	2.27	33.5	2.29
	$X_{0102} - X_{0302}$	1.80	21.1	2.29
	$X_{0202} - X_{0302}$	0.47	1.4	2.29
Optaloy II	$X_{0103} - X_{0203}$	2.12	29.2	2.29
	$X_{0103} - X_{0303}$	1.90	23.5	2.29
	$X_{0203} - X_{0303}$	0.22	0.3	2.29
Dispos-a-cap	$X_{0104} - X_{0204}$	1.93	24.2	2.29
	$X_{0104} - X_{0304}$	1.52	15.0	2.29
	$X_{0204} - X_{0304}$	0.41	1.09	2.29

Tab. 7

Mittelwertsvergleich der Amalgamsorten untereinander nach Politur,
nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung.

	Kontrast (Differenz d. Mittelwerte)	Differenz	errechneter F - Wert	theoretischer F - Wert
nach Politur	$X_{0101} - X_{0102}$	0.08	0.04	2.29
	$X_{0101} - X_{0103}$	0.04	0.01	2.29
	$X_{0101} - X_{0104}$	0.03	0.00	2.29
	$X_{0102} - X_{0103}$	0.12	0.09	2.29
	$X_{0102} - X_{0104}$	0.05	0.01	2.29
	$X_{0103} - X_{0104}$	0.07	0.03	2.29
nach 10 sec Beschallung	$X_{0201} - X_{0202}$	0.06	0.02	2.29
	$X_{0201} - X_{0203}$	0.09	0.05	2.29
	$X_{0201} - X_{0204}$	0.35	0.79	2.29
	$X_{0202} - X_{0203}$	0.03	0.00	2.29
	$X_{0202} - X_{0204}$	0.29	0.55	2.29
	$X_{0203} - X_{0204}$	0.26	0.44	2.29
nach 20 sec Beschallung	$X_{0301} - X_{0302}$	0.57	2.11	2.29
	$X_{0301} - X_{0303}$	0.79	4.05	2.29
	$X_{0301} - X_{0304}$	0.34	0.75	2.29
	$X_{0302} - X_{0303}$	0.22	0.31	2.29
	$X_{0302} - X_{0304}$	0.23	0.34	2.29
Tab. 8	$X_{0303} - X_{0304}$	0.45	1.32	2.29

Mittlere Rauhtiefen in den Bereichen 1 = Füllungsmitte, 2 = Zwischenbereich, 3 = Füllungsrand vor, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung unter Vernachlässigung der vier Amalgamsorten aus $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte.



Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.

Abb. 11

Mittlere Rauhtiefen der vier Amalgamsorten
nach Politur, nach 10 sec und nach 20 sec
Beschallung aus $n = 10$ Zähnen pro Amalgam-
sorte gewonnen. Die Bereiche 1 = Füllungsmitte,
2 = Zwischenbereich und 3 = Füllungsrand wurden
hierbei vernachlässigt.



unbeschallt



10 sec beschallt



20 sec beschallt

zu Abb. 12

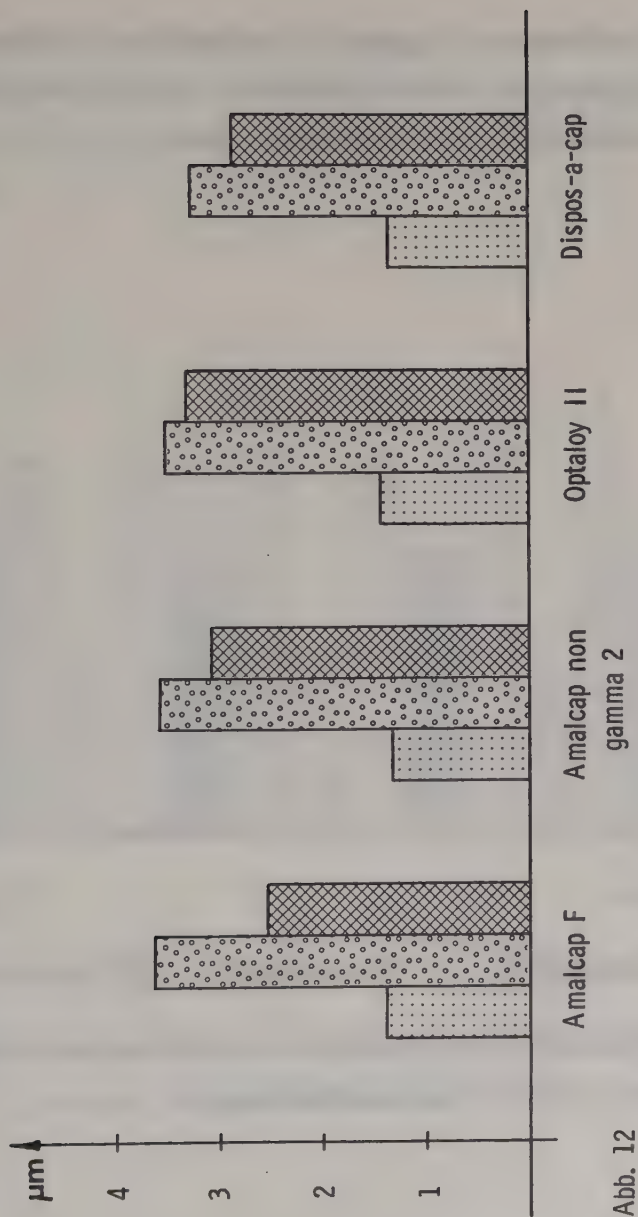
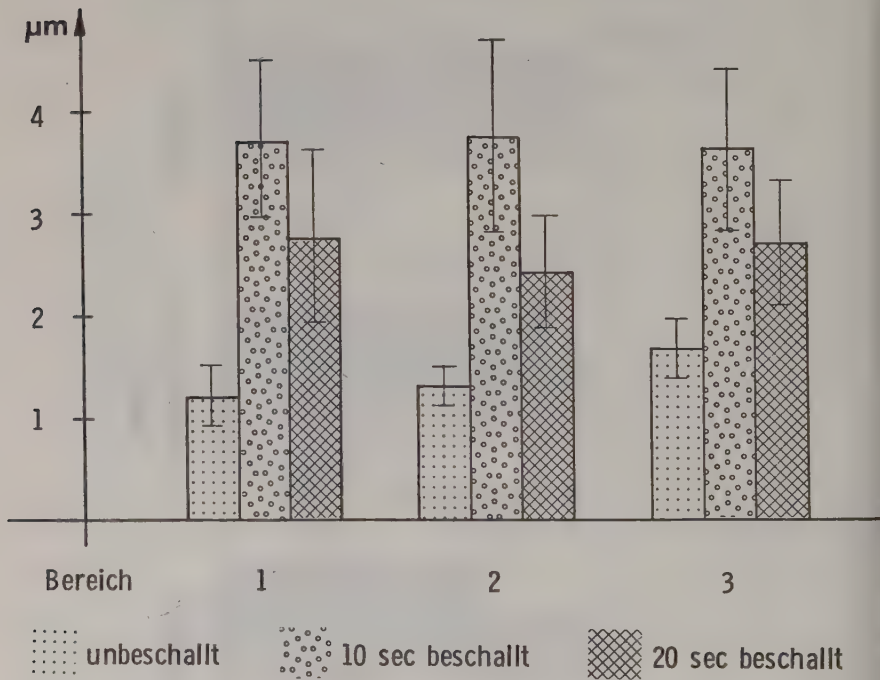


Abb. 12

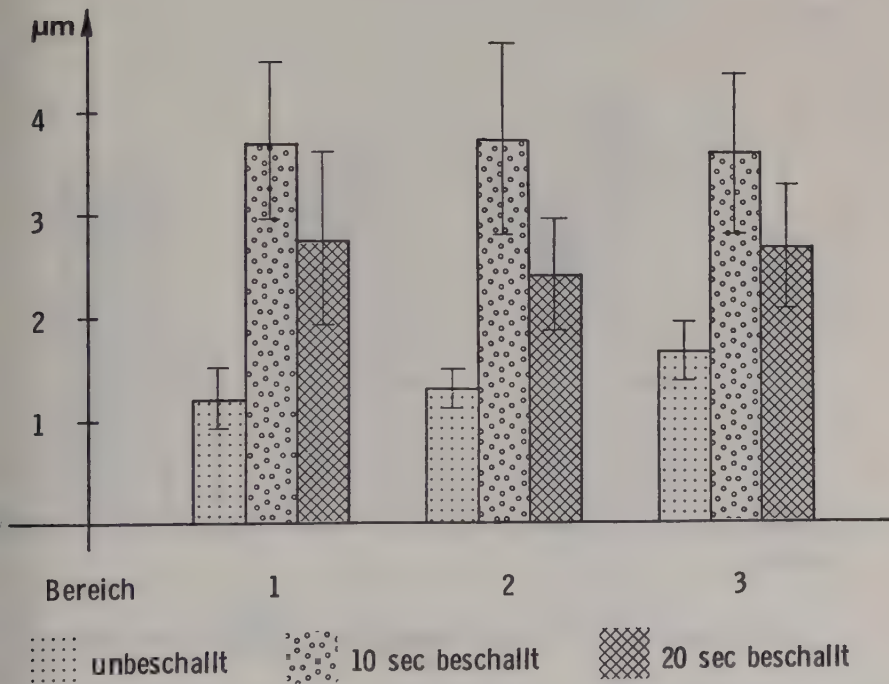
Mittlere Rauhtiefen von Amalcap F in den Bereichen 1 = Füllungsmitte, 2 = Zwischenbereich, 3 = Füllungsrand vor, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung aus n = 10 Zähnen gewonnen.



Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.

Abb. 13

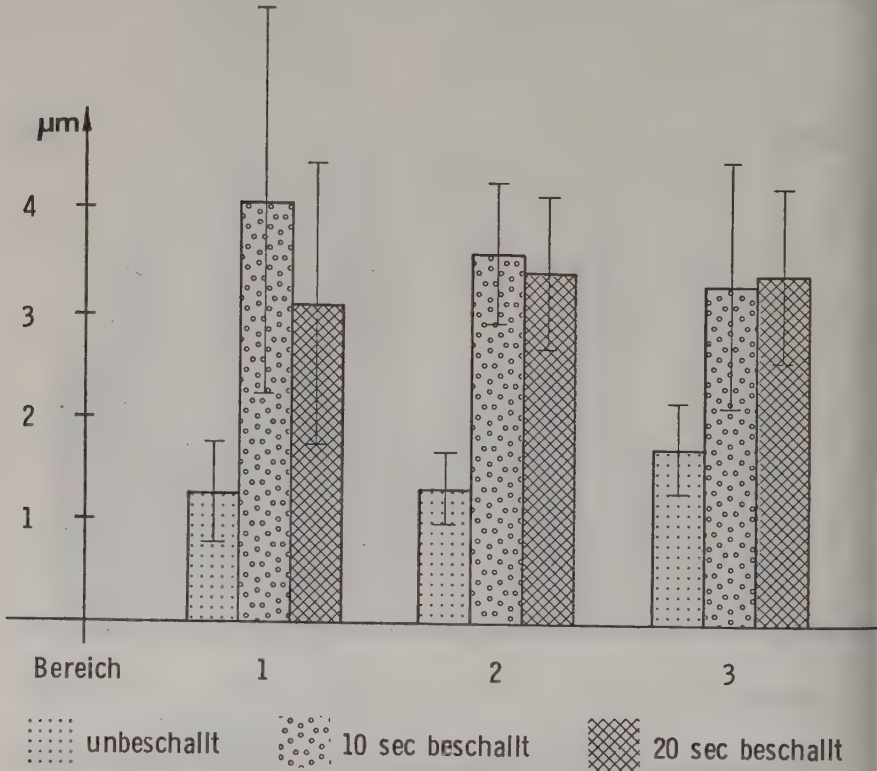
Mittlere Rauhtiefen von Amalcap non gamma 2 in den Bereichen
1 = Füllungsmitte, 2 = Zwischenbereich, 3 = Füllungsrand vor,
nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung aus n = 10 Zähnen
gewonnen.



Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert
geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.

Abb. 14

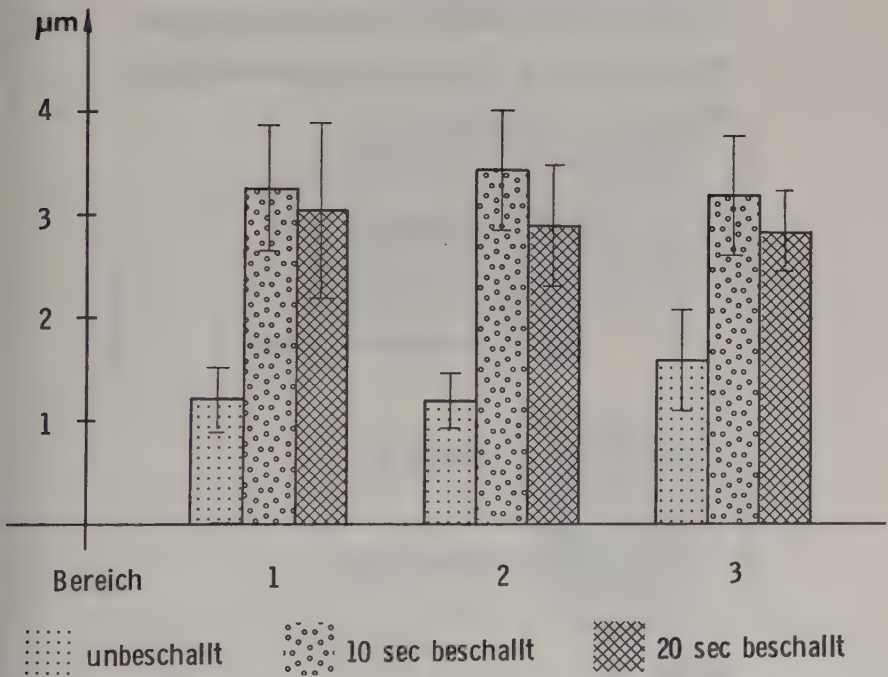
Mittlere Rauhtiefen von Optaloy II in den Bereichen 1 = Füllungsmitte, 2 = Zwischenbereich, 3 = Füllungsrand vor, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung aus n = 10 Zähnen gewonnen.



Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.

Abb. 15

Mittlere Rauhtiefen von Dispos-a-cap in den Bereichen 1 = Füllungs-
mitte, 2 = Zwischenbereich, 3 = Füllungsrand vor, nach 10 sec und
nach 20 sec Beschallung aus n = 10 Zähnen gewonnen.



Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert
geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.

Abb. 16

Mittlere Rauhtiefen der vier Amalgamsorten in Bereich 1 = Füllungsmitte aus $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte gewonnen. Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den $2s$ -Bereich (Standardabweichung) an.



Amalcap F



Amalcap non gamma 2



Optaloy II



Dispos-a-cap

zu Abb. 17

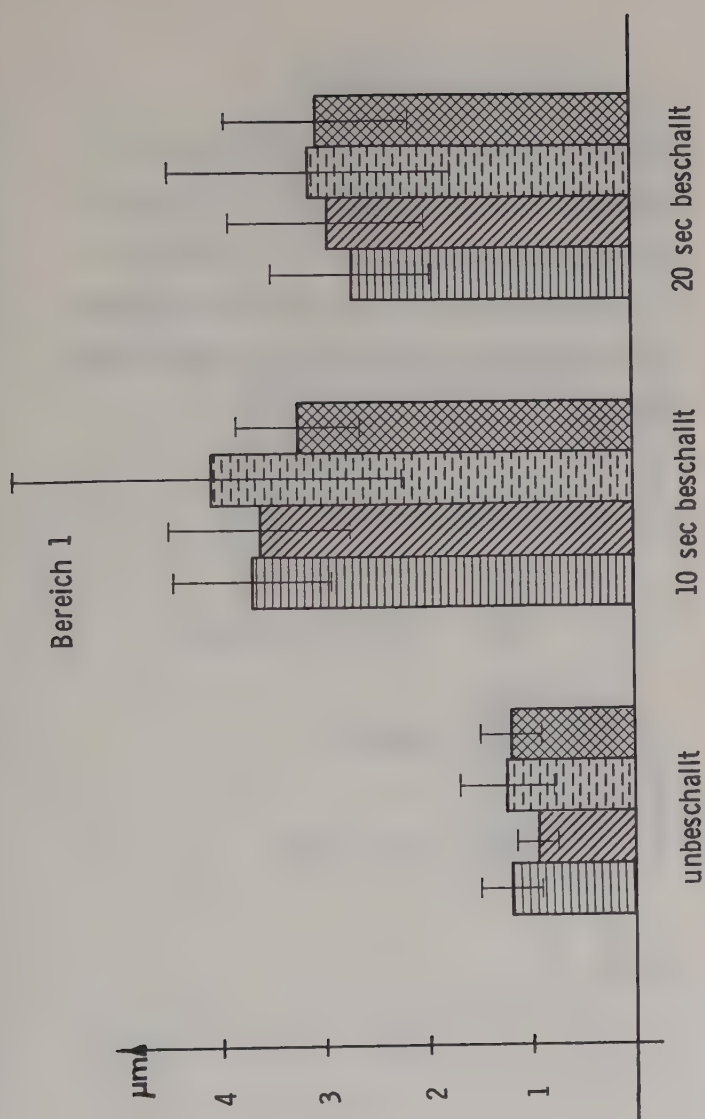


Abb. 17

Mittlere Rauhtiefen der vier Amalgamsorten in Bereich 2 = Zwischenbereich aus $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte gewonnen. Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den 2 s-Bereich (Standardabweichung) an.



Amalcap F



Amalcap non gamma 2



Optaloy II



Dispos-a-cap

zu Abb. 18

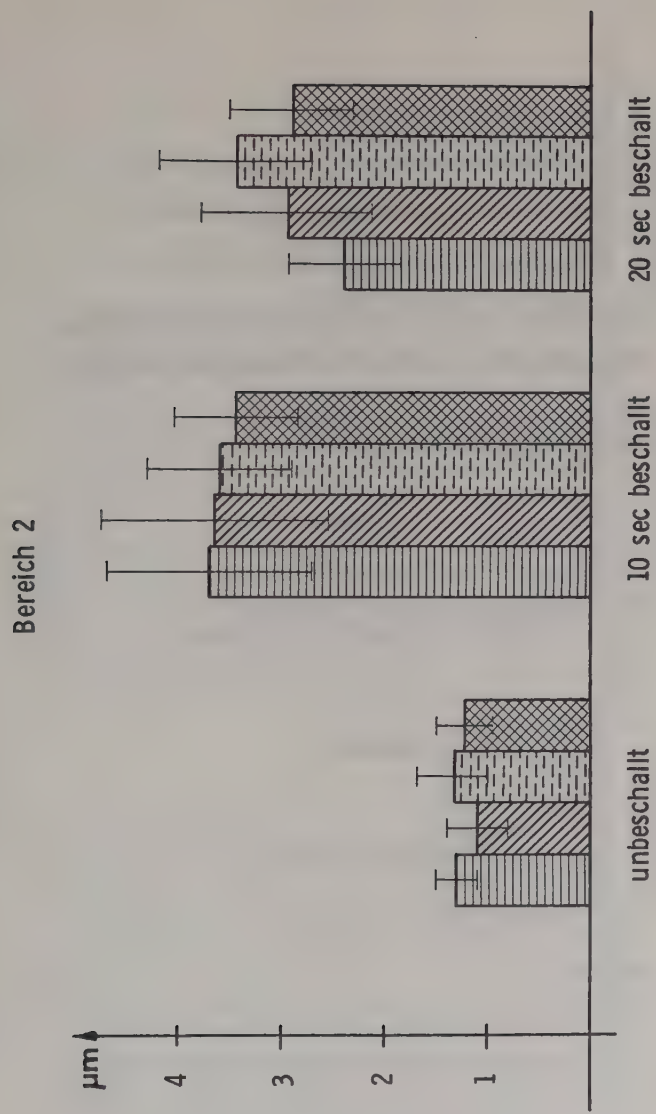


Abb. 18

Mittlere Rauhtiefen der vier Amalgamsorten in Bereich 3 = Füllungsrand aus $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte gewonnen. Die Intervalle um den durch eine Säule gekennzeichneten Mittelwert geben den $2s$ -Bereich (Standardabweichung) an.



Amalcap F



Amalcap non gamma 2



Optaloy II



Dispos-a-cap

zu Abb. 19

Bereich 3

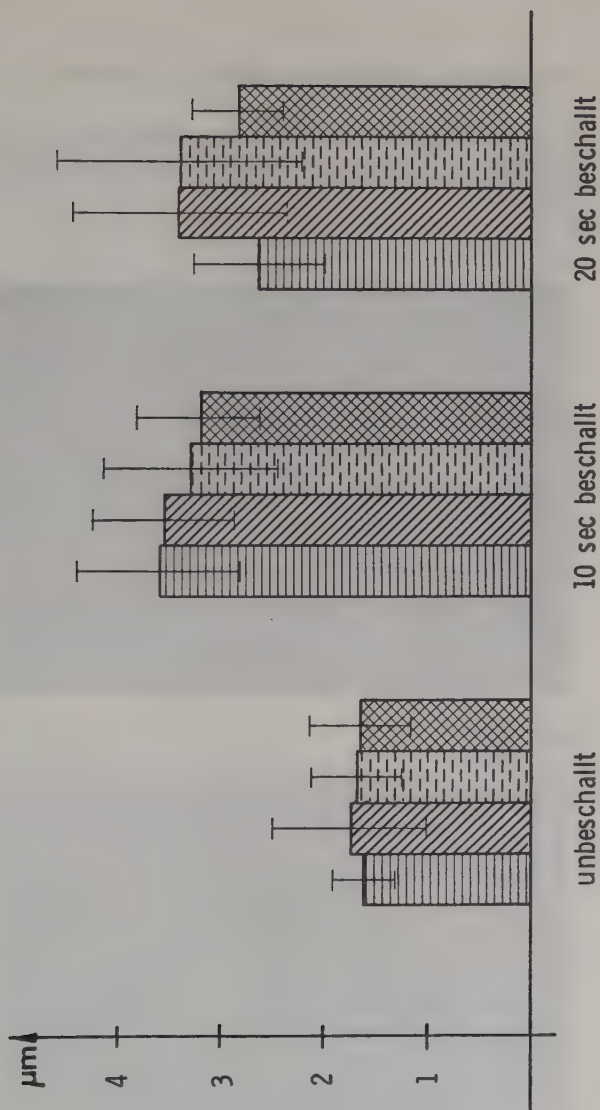


Abb. 19

3.2.0 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen

Von der Vielzahl der REM-Aufnahmen haben wir nur einige charakteristische Abbildungen gegenübergestellt.

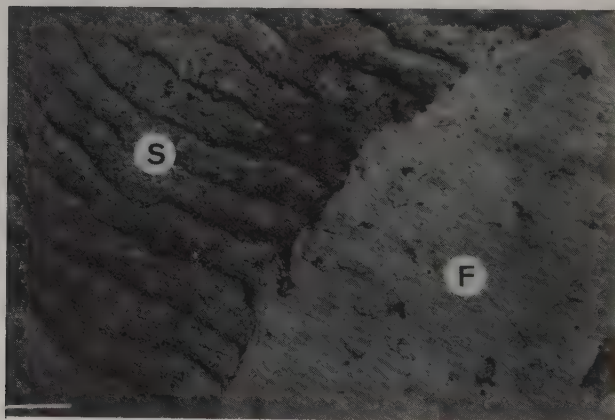


Abb. 20

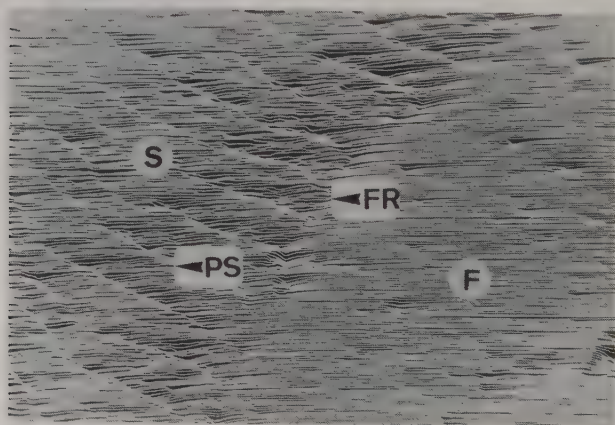


Abb. 21

zu Abb. 20: REM-Aufnahme einer AMALCAP-NON-GAMMA-2-Füllung (170-fach) nach Politur. Die Füllungsoberfläche

F ist deutlich glatter als der Schmelz **S**, was sich durch die Perikymatien erklären läßt.

zu Abb. 21: REM-Aufnahme in der Y-Modulation (170-fach) gleicher Bildausschnitt wie oben. Perikymatien des Schmelzes

◄**PS** und Füllungsrand ◄**FR** sind gut zu erkennen.

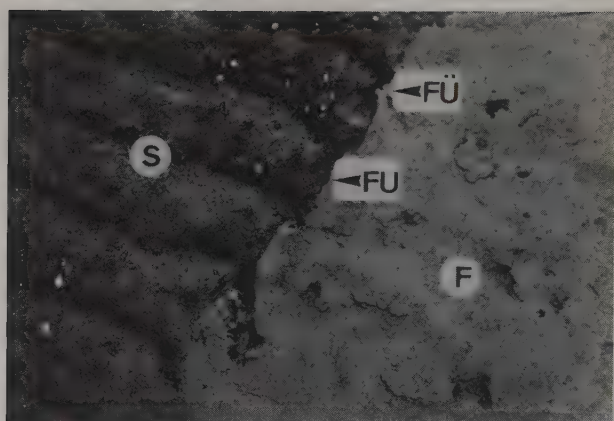


Abb. 22

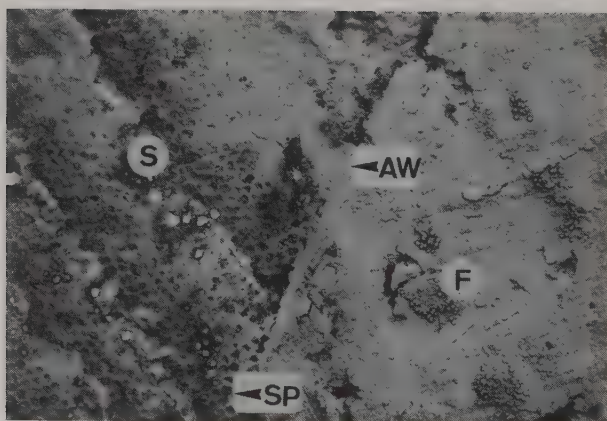


Abb. 23

zu Abb. 22: REM-Aufnahme einer AMALCAP-NON-
GAMMA-2-Füllung (340-fach) nach
Politur. Es zeigt sich ein Fül-
lungsüberschuß **◀FÜ** in den
Tälern und ein Füllungsunter-
schuß **◀FU** in den Erhebungen
der Perikymatien.

zu Abb. 23: REM-Aufnahme einer OPTALOY-II-Fül-
lung (340-fach) nach Politur. Es
sind deutlich die Schmelzprismen
◀SP zu erkennen, ebenfalls ein
guter Randschluß. Amalgam im Wel-
lental der Perikymatien **◀AW** .

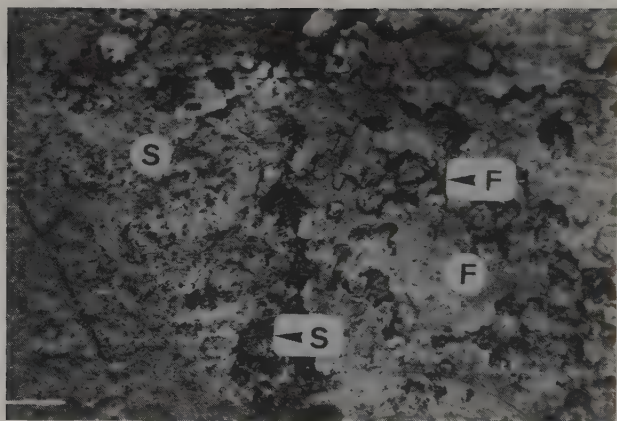


Abb. 24

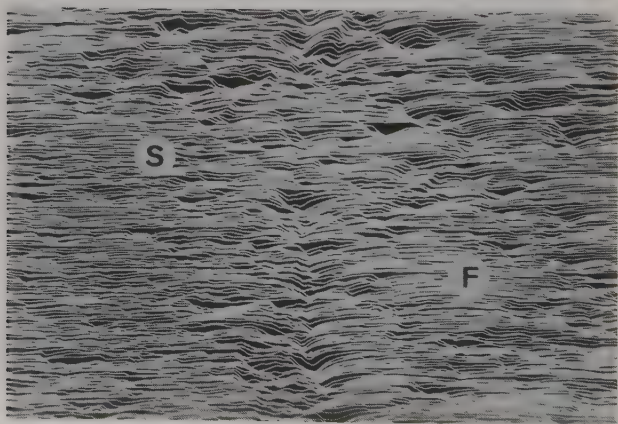


Abb. 25

zu Abb. 24: REM-Aufnahme einer DISPOS-A-CAP-Füllung (170-fach) nach 10 sec Ultraschalleinwirkung. Man erkennt die Zertrümmerungen an Füllung $\blacktriangleleft$ F und Zahnschmelz $\blacktriangleleft$ S .

zu Abb. 25: REM-Aufnahme in der Y-Modulation (170-fach) gleicher Bildausschnitt wie oben. Im Gegensatz zur unbeschallten Füllungsoberfläche ist eine starke Rauigkeitssteigerung festzustellen (siehe Abb. 21).

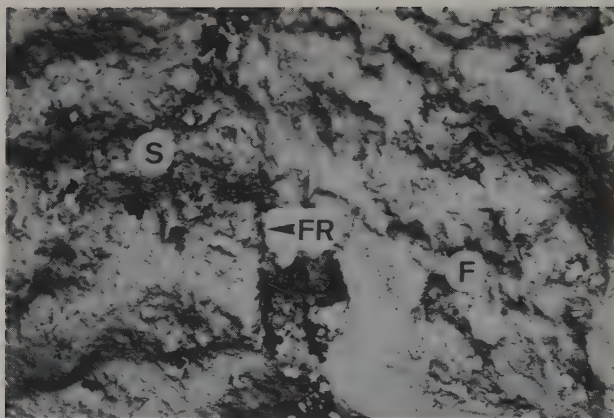


Abb. 26

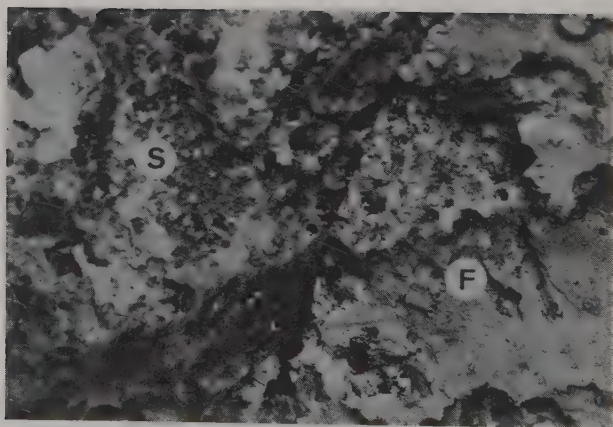


Abb. 27

zu Abb. 26: REM-Aufnahme einer AMALCAP-NON-
GAMMA-2-Füllung (340-fach) nach
10 sec Ultraschalleinwirkung.
Eine Spaltbildung im Bereich des
Füllungsrandes ist nicht zu er-
kennen ◀FR .

zu Abb. 27: REM-Aufnahme einer AMALCAP-F-
Füllung (340-fach) nach 10 sec
Ultraschalleinwirkung. Wie in
der Abb. oben, stellen sich Kra-
ter und Gräben durch abgesprengte
Füllungs- und Schmelzanteile dar.

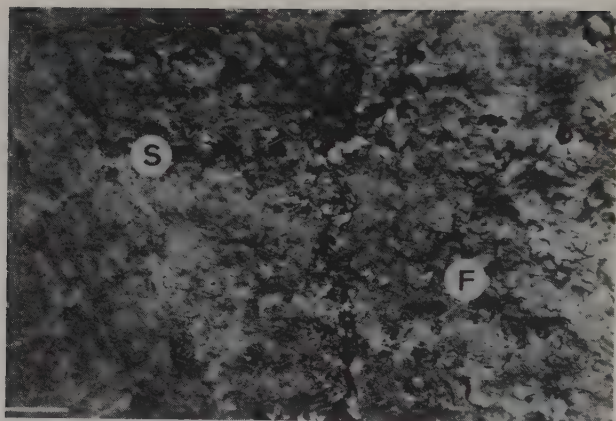


Abb. 28

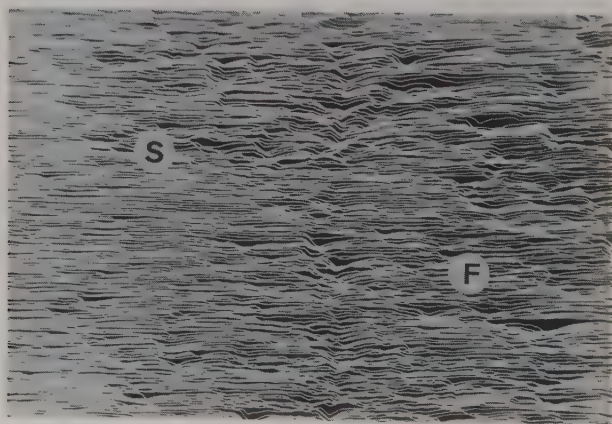


Abb. 29

zu Abb.: 28: REM-Aufnahme einer AMALCAP-F-Füllung nach zweimaliger Beschallung (170-fach). Der Ein-
ebnungseffekt ist zu erkennen,
der Füllungsrand stellt sich
nicht mehr deutlich wie nach
einmaliger Beschallung dar
(siehe Abb. 25).

zu Abb. 29: REM-Aufnahme in der Y-Modulation
(170-fach), gleicher Bildaus-
schnitt wie oben.

4.0.0 Diskussion der Resultate

Wie aus der Arbeit von DINGES/JOCHUM (4) hervorgeht, treten bei der Anwendung von Ultraschallzahnreinigungsgeräten am Zahn und an den plastischen Füllungsmaterialien Oberflächenschäden in Form von Rauigkeitssteigerungen auf, die im Bereich des Füllungsrandes am größten sind. Aufgrund dieser Ergebnisse und der Tatsache, daß Silberamalgam am häufigsten bei der konservierenden Behandlung im Bereich der Seitenzähne appliziert wird, wählten wir vier verschiedene Silberamalgamsorten aus und untersuchten ihr Verhalten auf Einwirkung von Ultraschall. Um zu einer allgemein gültigen Aussage zu kommen, waren gleiche Versuchsbedingungen und exakte Reproduzierbarkeit Voraussetzung. Dies erreichten wir mit speziellen Vorrichtungen und Methoden, die von SCHRÖDER (27) entworfen und von DINGES/JOCHUM (4), sowie von uns weiterentwickelt und verfeinert wurden. Außer quantitativen Untersuchungen mittels Profilographen führten wir zur besseren Veranschaulichung qualitative Betrachtungen in Form von rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen durch.

Vergleicht man die mittleren Rauhtiefen vor, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung, so stellt man fest, daß die Rauigkeit nach der 1. Beschallung von etwa $1,4\text{ }\mu\text{m}$ auf $3,5\text{ }\mu\text{m}$ zugenommen hat, und nach weiteren 10 sec Ultraschalleinwirkung auf $3\text{ }\mu\text{m}$ zurückgeht (siehe Abb. 11). Dieses Resultat wird auch durch REM-Aufnahmen in der Normalabbildung und Y-Modulation

sowie durch die statistische Auswertung der gewonnenen Meßdaten bestätigt. Die REM-Aufnahmen zeigen deutlich, daß durch die Einwirkung von Ultraschall Schmelz- und Amalgamteilchen herausgeschlagen werden, es kommt zu schollenartigen Abbrüchen und zu Randaufbrüchen; polierte unversehrte Füllungs- und Schmelzoberflächen sowie Krater liegen abwechselnd vor. Die Abspregung randständigen Schmelzes und Füllungsmaterialies führt zu Gräben. (siehe Abb. 24 - 27). Diese Beobachtungen beschrieben SCHRÖDER (27) und DINGES/JOCHUM (4) bereits in ihren Arbeiten. Im Gegensatz zu diesen Autoren ergab sich aber bei unserer Untersuchung nach der 2. Beschallung keine Rauigkeitssteigerung mehr. Wie aus den Profilschrieben und den REM-Aufnahmen hervorgeht, wurden bei der zweiten Ultraschalleinwirkung die starken Erhebungen des Oberflächenprofils sogar etwas abgetragen, wodurch eine Verringerung der Rauigkeit eintritt.

Diese, die Füllungen insgesamt betreffenden Aussagen, reichen zur Charakterisierung der Wirkung des Ultraschallgerätes aber nicht aus. Wir untersuchten deshalb, wie sich die einzelnen Füllungsabschnitte (Bereich 1 = Füllungsmitte, Bereich 2 = Zwischenbereich, Bereich 3 = Füllungsrand) gegenüber einer Beschallung von 10 und 20 sec verhielten. Bei der Erhebung der Ausgangswerte (nach Politur der Füllung) stellten wir eine Zunahme der Rauigkeit um $0,5 \mu\text{m}$ zum Füllungsrand hin fest. Während sich Bereich 1 und 2 nicht signifikant unterscheiden, liegt

zwischen Bereich 1 und 3 und 2 und 3 Signifikanz vor. Diese Tatsache ist auf die erhöhte Rauhtiefe am Füllungsrand zurückzuführen. Wie aus REM-Aufnahmen hervorgeht, ist Füllungsüber- sowie Füllungsunterschuß, als auch mangelnde Adaption des Amalgams hierfür verantwortlich zu machen (siehe Abb. 22, 23). Korrosionsspalten, wie sie von DREYER-JØRGENSEN (5) infolge galvanischer Korrosion und mercurioskopischer Expansion in den Kantengebieten der Füllungen auftreten, konnten wir bei unserer Versuchsanordnung nicht nachweisen. Vergleicht man nun die unterschiedlichen Bereiche nach 10 sec Beschallung, so ergibt sich eine Rauheitssteigerung der gesamten Füllung um etwa $2\text{ }\mu\text{m}$. Der Rauheitsunterschied zwischen Füllungsmitte und Füllungsrand hat sich gegenüber den Ausgangswerten auf $0,2\text{ }\mu\text{m}$ verringert. Die Bereiche 1 und 3 differieren signifikant, während dies zwischen den Bereichen 1 und 2 nicht der Fall ist. Ähnliche Beobachtungen konnten wir auch schon beim Vergleich der Ausgangswerte machen, jedoch zeigt sich deutlich, daß die Differenz zwischen errechneten und theoretischen F-Wert, somit die Signifikanz nach 10 sec Beschallung, geringer geworden ist. Diese Resultate lassen auf eine nahezu gleichmäßige Aufrauhung durch Ultraschall schließen.

Nach weiteren 10 sec Ultraschalleinwirkung unterscheiden sich nur noch die Bereiche 2 und 3 leicht signifikant, während zwischen den Bereichen 1 und 2 und 1 und 3 keine Signifikanz vorliegt. Wie schon nach der ersten Beschallung zu sehen war, ergab sich

auch nach 20 sec Beschallung eine zunehmende Angleichung der von uns ermittelten Rauheitswerte an Schmelz und Füllung (siehe Tab. 5).

Ein Vergleich der mittleren Rauhtiefen von AMALCAP-F, AMALCAP NON GAMMA 2, OPTALOY II und DISPOS-A-CAP nach der Politur, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung, ergab ein nahezu gleiches Verhalten der verschiedenen Amalgamsorten (siehe Abb. 12). Während nach der 1. Beschallung und nach der 2. Beschallung im Vergleich zum Ausgangszustand ein signifikanter Unterschied vorhanden war, konnte zwischen erster und zweiter Ultraschalleinwirkung nur bei AMALCAP-F Signifikanz festgestellt werden. Die Rauheitsunterschiede betrugen in diesem Fall bei AMALCAP-F etwa $1\text{ }\mu\text{m}$, bei AMALCAP NON GAMMA 2 und DISPOS-A-CAP $0,5\text{ }\mu\text{m}$ und bei OPTALOY II $0,3\text{ }\mu\text{m}$. Der Einebnungseffekt nach der zweiten Beschallung war somit bei der ersten Amalgamsorte am größten. Ein möglicher Grund für dieses Verhalten könnte in der gamma-2-Phase zu sehen sein, die bei diesem Füllungsmaterial am ausgeprägtesten ist (DREYER-JØRGENSEN, 5, KROPP, 14, CASTAGNOLA/WIRZ/GABEROGGIO, 1, GORUS, 10).

Bei der Untersuchung, wie weit sich die einzelnen Amalgame in den zuvor beschriebenen Bereichen unterschiedlich verhalten, konnte keine Signifikanz festgestellt werden (siehe Tab. 3). So waren auch keine bedeutenden Unterschiede innerhalb der Amalgamsorten im Rauheitsverhalten zwischen Ausgangsbefund und 10 sec und 20 sec Ultraschallein-

wirkung zu ermitteln, lediglich AMALCAP F und OPTALLOY II unterschieden sich nach der zweiten Beschallung leicht signifikant. An Hand der REM-Aufnahmen lassen sich keine Differenzierungen innerhalb der von uns untersuchten Amalgamsorten erkennen. Eine Aussage hierüber wäre rein spekulativ. Es ist jedoch möglich, zwischen den einzelnen Zuständen (unbeschallt, 10 sec beschallt und 20 sec beschallt) zu unterscheiden.

Wie aus unseren Beobachtungen hervorgeht, finden durch den Einfluß von Ultraschallzahnreinigungsgeräten Oberflächenveränderungen statt, die in erster Linie auf die Mikrohämmierung (DINGES/JOCHUM, 4, RABE, 22) zurückzuführen sind. Hierbei unterscheidet sich der Randbereich signifikant von den anderen Bereichen. Anscheinend ist die Adaptionsfähigkeit des Füllungsmateriales an die Kavitätenwand von großer Bedeutung. Ein finierter Kavitätenrand und sorgfältiges Ancondensieren des Füllungsmaterials könnten möglicherweise ausschlaggebend sein. Da durch die Rauigkeitssteigerung eine Oberflächenvergrößerung und somit zwangsläufig eine bessere Anhaftungsmöglichkeit der Plaques gegeben ist, sollte der Ultraschallzahnreinigung ein Glätten sowohl der Schmelzoberfläche als auch der Füllung mit Finierern, Bürstchen o. ä. erfolgen.

5.0.0 Zusammenfassung

Mittels des Ultraschallzahnreinigungsgerätes LT 200 der Firma LITTON wurde der Einfluß von Ultraschall auf vier verschiedene Silberamalgamsorten (AMALCAP F, AMALCAP NON GAMMA 2, OPTALOY II und DISPOS-A-CAP) untersucht und zwar sowohl quantitativ als auch qualitativ. Die quantitativen Untersuchungen erfolgten anhand der DIN-Norm 4768 nach der Politur der Füllung, nach 10 sec und nach 20 sec Beschallung. Für die Messungen, die wir unter konstant gehaltenen Bedingungen an $n = 10$ Zähnen pro Amalgamsorte wiederholten, stand uns das elektrische Tastschnittgerät, Profilograph Typ 5.815 der Firma FÖRSTER zur Verfügung. Durch einen geeigneten Versuchsaufbau konnten entsprechende Einzelmeßstrecken exakt reproduziert werden.

Die Untersuchungen, die in drei verschiedenen Bereichen (Füllungsmitte, Zwischenbereich und Füllungsrand) durchgeführt wurden, ergaben:

- 1) Zunahme der mittleren Rauhtiefe nach der ersten und einen Einebnungseffekt nach der zweiten Beschallung, wobei die Oberflächenrauhtiefe jedoch weitaus größer war, als der Ausgangsbe- fund.
- 2) Unterschiedliche mittlere Rauhtiefen in den drei verschiedenen Bereichen: Füllungsmitte, Zwischenbereich, Füllungsrand, wobei zunächst eine

Rauhigkeitssteigerung zum Rand hin vorhanden ist, die mit zunehmender Beschallungsdauer abnimmt.

- 3) Die mittleren Rauhtiefen der vier Amalgamsorten weisen keine signifikanten Unterschiede auf, lediglich AMALCAP-F und OPTALLOY II differieren nach der zweiten Beschallung signifikant.
- 4) Die REM-Aufnahmen lassen die starke Zunahme der Rauhigkeit durch Ultraschalleinwirkung deutlich erkennen. Durch Absprengung randständigen Schmelzes und Füllungsmaterialies sind Gräben zu erkennen. Eine Differenzierung zwischen den Amalgamsorten kann mit dieser Untersuchungsmethode nicht erfolgen.

Aufgrund der vorliegenden Resultate ist mit einer Aufrauhung der Füllungsoberfläche nach Ultraschalleinwirkung zu rechnen. Dabei kommt es zunächst zu schollenartigen Abbrüchen, die durch das Heraus-schlagen von oberflächlichen Füllungsanteilen entstehen. Nach der zweiten Beschallung ist ein leichter Einebnungseffekt zu erkennen. Die Rauhigkeit ist aber stets noch weitaus größer als der Ausgangsbefund.

Da Rauhigkeitssteigerung eine bessere Plaquesanhaftung ermöglicht, ist ein Nacharbeiten der beschallten Füllungs- und Schmelzoberfläche mit Finierern, Bürstchen o. ä. zu fordern.

6.0.0 Literaturverzeichnis

1. CASTAGNOLA, L. Klinische und materialspezi-
WIRZ, J. fische Aspekte herkömmlicher
GABEROGGIO, R. und gamma-2-freier Amalgame

Zahnärztl. Prax. 12 (1979)

2. DELEURAN, P. Vibrierende und rotierende
Depurationsgeräte

Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 3609 (1968)

3. DIEDRICH, P. Rasterelektronenmikroskopische
VAHL, J. Untersuchungen der Wurzelober-
BOMFLEUR, W. fläche nach Anwendung verschied-
MUTSCHELKNAUSS, R. dener Hand- und Ultraschallin-
strumente

Dtsch. zahnärztl. Z. 30, (1975)

4. DINGES, G. Der Einfluß verschiedener Ultra-
JOCHUM, C. schallzahnreinigungsgeräte auf
zahnärztliche Füllungsmaterialien

Med. Diss. Gießen (1978)

5. DREYER-JØRGENSEN, K. Amalgame in der Zahnheilkunde

Carl Hanser Verlag München,
Wien 1977

6. DREYER-JØRGENSEN, K. Praktische Anleitungen in
odontologischer Technologie
für Klinik und Laboratorium

Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 3036 (1966)

7. EICHNER, K. Normal-, hoch- und höchst-
touriges Bohren und Schleifen
von Zahnhartsubstanzen

Carl Hanser Verlag München 1966

8. ELLMANN, I. Comparative Safety of the
Rotosonic Scaler and the Curet

J. Periodont. 35 (1964)

9. FÖRSTER Bedienungsanleitung zum Förster-
profilograph Typ 5.815

Institut Dr. Förster, Reutlingen

10. GORUS, R. Die Änderung der Druckfestigkeit von Amalgamen innerhalb eines halben Jahres
Zahnärztl. Prax. 12 (1979)
11. HARNDT, E. Paradentitis und Paradentose
Carl Hanser Verlag, München
1950
12. HÜTTEMANN, R. Untersuchungen über die Oberflächenstruktur des Zahnschmelzes nach Einwirkung von Ultraschall
Med. Diss. Gießen (1976)
13. JACOBSON, L. Scaling mit Ultraschall
Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 4489 (1971)
14. KROPP, R. Verbesserung der Amalgamfüllungen durch Einführung von NON-gamma-2-Amalgamen
Dtsch. zahnärztl. Z. 35 (1980)

15. KROPP, R. Prüfung verschiedener Methoden
zur Bestimmung der Verarbei-
tungszeit von Amalgam

Dtsch. zahnärztl. Z. 32 (1977)
16. KROPP, R. Gamma-2-freies Amalgam - ein
neuer Werkstoff für die Zahn-
heilkunde

Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 5445 (1976)
17. KROPP, R. Amalgam in Theorie und Praxis

Zahnärztl. Prax., 19 (1973)
18. LANGE, D. E. Über den Einsatz von Ultra-
WITTE, M. H. schallgeräten in der Parodon-
tologie

Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 5730 (1978)
19. LITTON LT 200 Service Manual

Litton Dental Products

20. ORBAN, B. J. Parodontologie
Verlag "Die Quintessenz",
Berlin 1965
21. PHILIPPS, R. W. Füllungsmaterialien im Wandel
der Zeiten
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 79
(1969)
22. RABE, U. Oberflächenuntersuchungen der
Schmelz-Zement-Grenze mensch-
licher Zähne vor und nach Ein-
wirkung von Ultraschall
Med. Diss. Gießen (1980)
23. REINER, L. Rasterelektronenmikroskopie
PFEFFERKORN, G.
Springer Verlag 1977
24. REICHERT, R. Untersuchungen über die An-
wendbarkeit von Ultraschall zur
Kondensation von Amalgam
Med. Diss. Gießen (1975)

25. ROST, A. Vergleichende experimentelle
 Untersuchungen an ultraschall-
 und handkondensierten Amalgam-
 füllungen
- Dtsch. zahnärztl. Z. 22.
 (1967)
26. SCHAFFER, E. M. Peridontal Instrumentation:
 Scaling and Root Planing
- Z. Zellforsch. 92. (1968)
27. SCHRÖDER, H. J. Untersuchungen des Randes
 von Füllungen aus plastischem
 Material nach Einwirkung von
 Ultraschall
- Med. Diss. Gießen (1977)
28. SORRIN, S. Zahnsteinentfernung und
 Kurettage mit Ultraschall-
 gerät
- Quintess. zahnärztl. Lit.
 Ref. Nr. 2817 (1966)

29. SPRANGER, H. Gegenüberstellung verschiedener
Ultraschallgeräte zur Zahnstein-
entfernung

Zahnärztl. Welt 85. (1976)
30. SPRANGER, H. Untersuchungen über Wirkungen
HAIM, G. des Ultraschalles bei seiner
parodontalprophylaktischen
Verwendung

Stoma (Heidelb.) 22. (1969)
31. SPRANGER, H. Zur Analyse hochfrequenter
HAIM, G. Schwingungen in der Hart-
substanz menschlicher Zähne

Stoma (Heidelb.) 22. (1969)
32. SPRANGER, H. Untersuchungen über die Wir-
kungsweise der für die Para-
dentalprophylaxe gebräuch-
lichen Ultraschallgeräte

Zahnärztl. Welt 78. (1969)
33. SPRANGER, H. Ultraschall in der Parodontal-
therapie

Med. Diss. Berlin (1968)

34. STACHNISS, V. Die Politur der Amalgamfüllung
Dtsch. zahnärztl. Z. 35. (1980)
35. STAPFF, K. H. Zahnsteinentfernung und Füll-
ungspolitur
Siegwart Peters, Prophylaxe
Verlag "Die Quintessenz" 1978
36. STAPFF, K. H. Depuration mit Ultraschallge-
räten
Quintess. zahnärztl. Lit.
Ref. Nr. 4858 (1973)
37. WARD, H. L. Parodontologisches Praktikum
SIMRING, M.
SPRANGER, H.
Carl Hanser Verlag, München,
Wien 1978
38. WESTPHAL, W. H. Physik
Springer Verlag 1953

39. WIRZ, J.
MAZENAUER, B.
CASTAGNOLA, L.
- Gamma-2-freie Amalgame:
Einfluß der Verarbeitungs-
technik (TRITURATION) auf
die physikalischen Test-
werte
- Schweiz. Mschr. Zahnheilk.
88 (1978)

Herrn Prof. Dr. H. Pantke möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas sowie für seine Anregungen und Hilfestellungen bei der Durchführung der Arbeit herzlich danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Diplommathematiker R. H. Bödeker vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation in Gießen, der mich bei der statistischen Auswertung der gewonnenen Daten unterstützte.

Ferner sei auch Herrn Zahnarzt U. Rabe und Frau Simon-Müller gedankt, die mir bei der Herstellung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen behilflich waren sowie Frau Klinge, die mich bei der Durchführung der Versuche unterstützte.

Lebenslauf

Am 13. Juni 1948 wurde ich als Sohn des Kraftfahrers Willy Weigelt und seiner Ehefrau Frieda, geb. Ullmann in Heuchelheim, Kreis Gießen geboren. Seit 1954 besuchte ich die Volksschule in Gießen und wechselte 1959 zum Liebig-Gymnasium, das ich nach Abschluß der 10. Klasse 1966 verließ. Danach trat ich in die Lehre als Maschinenschlosser ein, die ich im Herbst 1969 mit der Facharbeiterprüfung abschloß. Seit September 1969 besuchte ich das Hessen-Kolleg in Wetzlar und erlangte im Januar 1972 die allgemeine Hochschulreife. Von April bis Oktober 1972 wurde ich im Rahmen des Grundwehrdienstes bei der Bundeswehr zum Sanitäter ausgebildet und heiratete im Oktober des gleichen Jahres meine Frau Birgit, geb. Haffer. Zum Wintersemester 1972/73 begann ich mit dem Studium der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Justus-Liebig-Universität in Gießen. Im März 1973 wurde unsere Tochter Alexandra geboren. Die zahnärztliche Vorprüfung legte ich im März 1975 ab. Nachdem im April 1977 unser Sohn Björn geboren wurde, beendete ich im Dezember des gleichen Jahres das Studium der Zahnheilkunde mit dem Staatsexamen. Von Januar bis September 1978 leistete ich meinen restlichen Grundwehrdienst als Stabsarzt in Hildesheim und Wetzlar ab. Seit September 1978 bin ich am Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Gießen in der konservierenden Abteilung als wissenschaftlicher Angestellter tätig.



Offset Köhler KG 6300 Giessen